

# 13th-note 数学 I

(2013 年度卒業生まで)

この教材を使う際は

- 表示：原著者のクレジット「13th-note」を表示してください。
- 非営利：この教材を営利目的で利用してはいけません。ただし、学校・塾・家庭教師の授業で利用するための無償配布は可能です。
- 継承：この教材を改変した結果生じた教材には、必ず、原著者のクレジット「13th-note」を表示してください。
- クレジットを外して使用したいという方はご一報 ([kutomi@collegium.or.jp](mailto:kutomi@collegium.or.jp)) ください。



Ver2.741 (2012-10-2)

第1章 Ver2.74, 第2章 Ver2.741, 第3章 Ver2.74

---

## はじめに

13th-note 数学 I は、文部科学省の指導要領（平成 23 年度の入学者まで実施）に沿った内容を含む検定外の「高校の教科書」として作られ、ホームページ (<http://www.collegium.or.jp/~kutomi/>) にて無償公開されています。学ぶ意欲さえあれば、誰でも学ぶことができるように、との意図からです。

また、執筆者と閲覧者がインターネットを介して繋がり、互いの意見を交わすことが出来る関係にあります。

こういった「教科書」の形態は、日本ではあまり見られないことでしょう。

しかし、13th-note 数学 I が既存の教科書と最も異なる点は、その中身でしょう。13th-note 数学 I では、以下の方針を採用しています。

- 13th-note 数学 I では全ての問題に、詳細な解答・解説を付ける。
- 新しい数学の概念に関して、通常、教師用にしか載っていない詳細な解説も付ける。

これらは、以下の考えに基づいています。

- 自学自習がしやすい教科書にしたかった。  
(学校等とは関係なく自分で勉強したい人のためでもあり、試験前に教科書を開きながら自学自習する高校生のためでもある)
- 隅々まで読めば読むほど、何か得るものがある教科書にしたかった。
- 大学受験の数学を意識してはいるが、あくまで数学の知識・感覚（新しい数学の概念を吸収するための土壌、とでも言えるでしょうか）を中心に解説している教科書にしたかった。
- 既存の教科書・指導要領に沿わせることより、数学の理解に必要なかどうかに基づいて内容の選定・配列することを重視した。

詳細な解説を増やしたことは、一方で、悩みの種にもなりました。というのも、その詳細な解説が、読者の創造力・発想力を妨げないか、と感じたからです。

この点について、私は「詳細な解説を最初に読むか、後で読むか、そもそも読まないか、それは読者が決めればよい。ただ我々は、読者の視点が偏らないよう、最大限の配慮をするのみ」という結論を出し、上記の方針としました。

この教科書の執筆者として、数学の学習について 2 点アドバイスを書いておきます。

- (1) 公式そのものよりも、「いつ公式が使えるか」を真っ先に覚えましょう。公式そのものは忘れても調べられます。また、思い出そうとしたり、作ろうとする努力はよい勉強になります。しかし、「いつ使うか」を忘れると、答えを見ない限り何もできません。
- (2) 問題を解いて答えが合わないときは、まず、計算ミスを疑いましょう。

この 13th-note 数学 I は、FTEXT 数学 I を改訂することで出発しました。至る所に手を加え、新しいアイデア・表現・図表等を加えた結果が 13th-note ですが、最初に FTEXT 数学 I がなければ、この 13th-note 数学 I の誕生はずっと遅れていたでしょう。FTEXT 数学 I の作成を中心になって進められた吉江弘一氏に、感謝いたします。

また、この 13th-note 数学 I を作成する際には、 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  という組版ソフトが使われています。 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  のシステムを作られた Donald E. Knuth 氏、それを日本語に委嘱した ASCII Corporation、さらに、(日本の) 高校数学に適した記号・強力な描画環境を実現した「 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  初等数学プリント作成マクロ emath」作者の大熊一弘氏に、感謝いたします。

最後に、13th-note 数学 I の雰囲気や和らげている **みかちゃん** フォントの作者にも感謝いたします。この教科書を手にとった人、一人一人に、「数学も、悪くないな」と思っただけであれば、幸いです。

久富 望

## 凡例

### 1. 【解答】について

【解答】には、問題の解答だけでなく、さらに理解を深めるためのヒントも書かれていることがあります。問題を解いて解答が一致した後、一応【解答】をチェックすることをお勧めします。

### 2. 問題の種類

【例題 2】 【例題】は、主に、直前の定義や内容の確認を兼ねた例題です。はじめて学ぶ人、復習だが理解が足りないと思う人は、解くのが良いでしょう。逆に、既に理解がある程度できていると思う人は、飛ばしても良いでしょう。

#### 【練習 3: 主要になる「練習」問題】

【練習】は、13th-note 教科書の軸と成る問題群です。基本的に解くようにしましょう。解いていて疑問など見つければ、直線の説明、【例題】を参照したり、答えをよく理解するようにしましょう。


#### 【暗記 4: ただ解けるだけではいけません】

定義・定理を「知っている」と「使える」は違います。特に、「反射的にやり方を思い出す」べき内容があります。それが、この暗記問題です。この暗記問題については「解ける」だけでなく、その解き方・考え方をすぐに頭の中で思い浮かべられるようにする必要があります。

#### 【発展 5: さらに次へのステップ】

【発展】は、ただ定義や定理が分かるだけでは解けない問題です。さらに理解を深めたい人、大学入試の数学を意識する人は挑戦し、理解するようにしましょう。

### 3. 補足

本文中、ところどころに  マーク付きの文章があります。このマークのついた文章は、主に、本文とは少し異なる視点から書かれています。理解を深めることに役立つことがあるでしょう。

# 目次

はじめに	ii
凡例	iii
<b>第 1 章 数と式</b>	<b>1</b>
§1.1 いろいろな数	1
§1. 自然数・整数	1
§2. 有理数	3
§3. 実数	5
§4. 絶対値	7
§1.2 式の計算	11
§1. 単項式	11
§2. 多項式	13
§3. 多項式の乗法の公式	18
§4. 展開の工夫	25
§5. 多項式の因数 — 因数分解の基礎	29
§6. 多項式の因数分解の公式	31
§7. 難度の高い因数分解	38
§8. 式の値の計算	44
§1.3 第 1 章の補足	47
§1. 開平法について	47
§2. 複 2 次式の因数分解について	50
<b>第 2 章 方程式・不等式と関数</b>	<b>51</b>
§2.1 1 次不等式	52
§1. 不等式の性質	52
§2. 1 次不等式とその解法	54
§2.2 2 次方程式の基礎	61
§2.3 関数	69
§1. 関数とは	69
§2. グラフによる関数の図示	71
§3. 方程式・不等式の解と関数のグラフ	75
§4. 絶対値を含む 1 次関数・方程式・不等式	78
§2.4 2 次関数とそのグラフ	82
§1. 2 次関数のグラフ	82
§2. 2 次関数の決定	92
§3. 2 次関数の対称移動・平行移動	97
§4. 2 次関数の最大・最小	101
§5. 2 次関数の応用問題	108

§6.	放物線と $x$ 軸の位置関係 — 判別式 $D$ . . . . .	112
§2.5	2 次方程式と 2 次関数 . . . . .	115
§1.	2 次方程式の判別式 $D$ と 2 次関数の判別式 $D$ を同一視する . . . . .	115
§2.	2 次方程式・2 次関数の応用 . . . . .	119
§2.6	2 次不等式と 2 次関数 . . . . .	122
§1.	2 次不等式の解法の基礎 . . . . .	122
§2.	2 次関数・2 次方程式・2 次不等式の応用問題 . . . . .	131
§3.	絶対値を含む 2 次関数・方程式・不等式 . . . . .	137
§2.7	第 2 章の補足 . . . . .	142
§1.	一般のグラフの移動について . . . . .	142
§2.	頂点の移動を用いて 2 次関数の移動を考える . . . . .	143
<b>第 3 章</b>	<b>三角比と図形の計量</b> . . . . .	<b>145</b>
§3.1	鋭角の三角比 . . . . .	145
§1.	三角比の定義 — 正接 ( $\tan$ ), 余弦 ( $\cos$ ), 正弦 ( $\sin$ ) . . . . .	145
§2.	三角比の利用 . . . . .	150
§3.	三角比の相互関係 . . . . .	155
§3.2	三角比の拡張 . . . . .	160
§1.	座標と三角比の関係 . . . . .	160
§2.	拡張された三角比の相互関係 . . . . .	166
§3.3	余弦定理・正弦定理 . . . . .	173
§1.	辺と角の名前 . . . . .	173
§2.	余弦定理 (第 2 余弦定理) . . . . .	173
§3.	三角形の決定 (1) . . . . .	176
§4.	正弦定理 . . . . .	178
§5.	三角形の決定 (2) . . . . .	180
§3.4	平面図形の計量 . . . . .	182
§1.	三角形の面積と三角比 . . . . .	182
§2.	平面図形の重要な問題・定理 . . . . .	186
§3.	平面図形の面積比 . . . . .	190
§3.5	空間図形の計量 . . . . .	192
§1.	空間図形の表面積比・体積比 . . . . .	192
§2.	球 . . . . .	194
§3.	空間図形と三角比 . . . . .	196
§3.6	第 3 章の補足 . . . . .	202
§1.	$36^\circ$ , $72^\circ$ などの三角比 . . . . .	202
§2.	第 1 余弦定理 . . . . .	205
§3.	ヘロンの公式の証明 . . . . .	206
	三角比の表 . . . . .	207
	索引	

## ギリシア文字について

24 種類あるギリシア文字のうち、背景が灰色である文字は、数学 I で用いられることがある。

英語	読み方	大文字	小文字	英語	読み方	大文字	小文字
alpha	アルファ	$A$	$\alpha$	nu	ニュー	$N$	$\nu$
beta	ベータ	$B$	$\beta$	xi	クシー, グサイ	$\Xi$	$\xi$
gamma	ガンマ	$\Gamma$	$\gamma$	omicron	オミクロン	$O$	$o$
delta	デルタ	$\Delta$	$\delta$	pi	パイ	$\Pi$	$\pi, \varpi$
epsilon	イプシロン	$E$	$\epsilon, \varepsilon$	rho	ロー	$P$	$\rho, \varrho$
zeta	ゼータ	$Z$	$\zeta$	sigma	シグマ	$\Sigma$	$\sigma, \varsigma$
eta	イータ	$H$	$\eta$	tau	タウ	$T$	$\tau$
theta	シータ	$\Theta$	$\theta, \vartheta$	upsilon	ユプシロン	$\Upsilon$	$\upsilon$
iota	イオタ	$I$	$\iota$	phi	ファイ	$\Phi$	$\phi, \varphi$
kappa	カッパ	$K$	$\kappa$	chi	カイ	$X$	$\chi$
lambda	ラムダ	$\Lambda$	$\lambda$	psi	プシー, プサイ	$\Psi$	$\psi$
mu	ミュー	$M$	$\mu$	omega	オメガ	$\Omega$	$\omega$

# 第1章 数と式



## 1.1 いろいろな数



「数とは何か？」

高校数学の学習を始めるにあたって、この問題について考えてみよう。

### 1. 自然数・整数

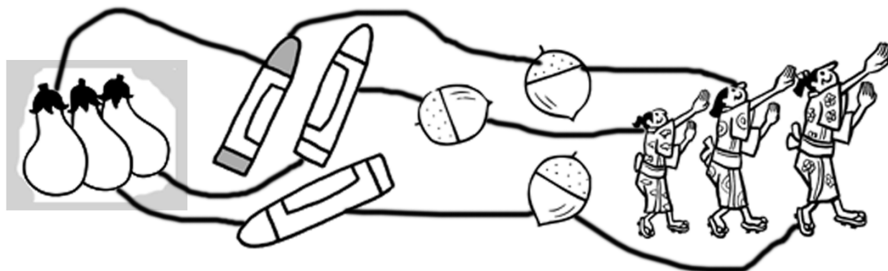
#### A. 「同じ数」とは～自然数の成り立ち

次の絵は左から「3本」「3本」「3個」「3人」であり、「数えた結果は3になる」という共通点がある。



そして、上のどの場合も、同じ数だけある。

もし、3という数字がなかったら、「同じ数だけある」事実はどう表現すればよいだろうか。それには、次のように線を引いて考えればよい。



そして、この線の本数が数を表していると考えられる。このように、(線を引くなどして)何かと何かを対応させるやり方を一対一対応という\*1。

ものを数えるときに使う数字「1, 2, 3, 4, 5, …」をまとめて自然数 (natural number) という。

\*1 このときの線の様子は、数字を表す文字の成り立ちに深く影響している。数字の3を、漢字では「三」と表すのはその一例である。複数の古代文明でも同じ現象が見られ、古代エジプトであれば、「|||」で数字3を表したことが分かっている。

## B. 負の数～何かと比べる

たとえば、あるお店に来たお客さんの数が右の表のようになったとしよう。

火曜は月曜より4人多い。

一方、水曜は月曜より4人少ない。

曜日	月	火	水	木	金	土
人数	60	64	56	54	60	63

どちらも「4人」だが、火曜と水曜では意味が

正反対である。そこで、火曜を「+4人」、水曜を「-4人」のように表現する。

このように、何かと値を比べる

とき、自然数にマイナス(-)をつ

けた負の数は重要な意味を持つ。

曜日	月	火	水	木	金	土
月曜と比べた増加(人)	-	+4	-4	-6	0	+3

## C. 0

0の誕生は、負の数より遅い。今では子供でも0を使いこなすが、人類は長い間、0を用いなかった。

たとえば、古代ローマでは、I (1), V (5), X (10), L (50), C (100), D (500), M (1000), … などを用い、古代の中国では、一, 二, 三, …, 十, 百, 千, 万, 億, … などを用いた\*2。

0という「数」を発明したのはインド人である。7世紀には発明されていた。0のおかげで現在のように「筆算」や「小数」を本格的に使う事が可能になり、人類の計算技術も、数を表わす能力も、飛躍的に向上した\*3。

**【例題1】** 次の計算をしなさい。ただし、0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 を用いずに計算すること。

1. VIII + XIII    2. XXII + XXVIII    3. 五百四 + 二千十八    4. 三万五千十六 + 二万四百九

## D. 整数とは

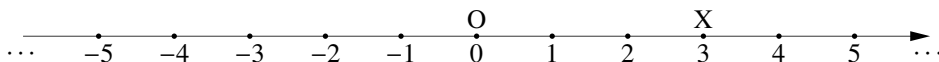
負の数と、0、自然数をまとめて**整数** (integral number) という。たとえば、次の数は全て整数である。

-2568, -23, -3, 0, 4, 57

## E. 自然数・整数の図示

自然数や整数を図示するには**数直線** (number line) を用いる。

数直線上のある点 X について「点 X に対応する数が a であること」を、X(a) と書く。たとえば、下図では点 X に対応する数が3であるので、X(3) である。



\*2 しかし、これらのやり方では、数が大きくなるたびに新しい記号を作らなければならない。

\*3 とはいえ、筆算や小数が考え出されて一般的に使用されるまでに何百年という時間がかかっている。筆算が考え出されるまで、計算には大変な時間がかかった。また、小数が存在しないだけでなく、分数の表し方は今と異なり、計算はとても複雑だった。



## 2. 有理数

### A. 分数～2つの数の比

6は3の何倍か？これは、 $6 \div 3 = 2$ によって2倍と求められ、6の3に対する比 (ratio) の値を表している。

一方、12は5の何倍になるだろうか。  $10 < 12 < 15$  なので、2倍よりは大きく、3倍よりは小さいが、整数では表せない。そこで新しい数、分数  $\frac{12}{5}$  をつくる。

一般に、「 $a$ の $b$ に対する比」を分数を  $\frac{a}{b}$  で表わす。



「に対する」の付けられた値・言葉が、その文脈中では基準となる。

### B. 有理数とは何か

分数で表現できる数を**有理数** (rational number) \*4という。整数は  $\frac{\text{整数}}{1}$  と表すことができるので有理数である。たとえば、次の数は全て有理数である。

$$-\frac{8}{3}, -2, 0, \frac{11}{19}, \frac{18}{9}, 26$$

特に、約分 (reduction) できない分数を**既約分数** (irreducible fraction) という。



有理数どうしの比も有理数になる。詳しくは、『複分数 (p.149)』で学ぶ。

**【例題2】** 次の分数を、既約分数で答えなさい。

1. 5の9に対する比の値

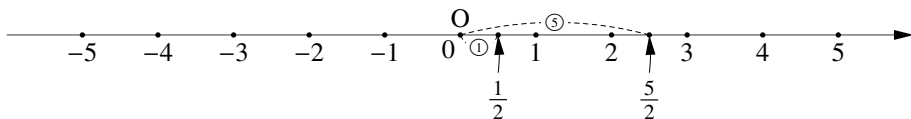
2. 7の35に対する比の値

3. 12に対する、9の比の値

4. -10に対する、15の比の値

### C. 有理数の図示

たとえば、 $\frac{1}{2}$  を数直線上で表すには、下図のように0と1をつなぐ線分の2等分点を取り、その点に  $\frac{1}{2}$  を対応させればよい。また、 $\frac{5}{2}$  ならば  $\frac{1}{2} \times 5$  と考えて、0と  $\frac{1}{2}$  をつなぐ線分を5つつないで得られる線分の右端の点を対応させればよい。



\*4 ratio が「比」を意味するのだから、rational number は“有比数”とでも訳されるべきだったのかもしれない。

### D. 有理数の間には必ず有理数がある

たとえば、 $\frac{1}{3}$  と  $\frac{2}{7}$  の間の有理数は、次のようにして得られる。

12 と 14 の平均値

$$\frac{2}{7} = \frac{12}{42} < \frac{13}{42} < \frac{14}{42} = \frac{1}{3}$$

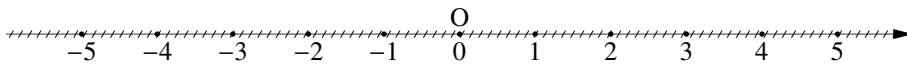
一般に、2つの有理数  $\frac{a}{b}$ ,  $\frac{c}{d}$  ( $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$ ) において

ad と bc の平均値

$$\frac{a}{b} = \frac{ad}{bd} < \frac{\frac{ad+bc}{2}}{bd} < \frac{bc}{bd} = \frac{c}{d}$$

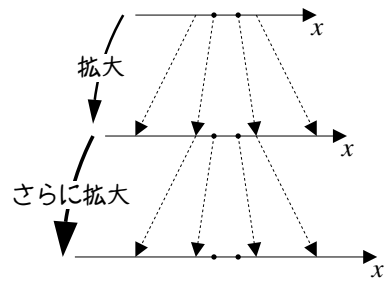
とすれば、2つの有理数の間に新しい有理数を考えることができる。

こうして、2つの異なる有理数の間には、必ず有理数が存在する\*5ことがわかる。



有理数はびっしり詰まっているイメージ

有理数の間には必ず有理数がある



#### 【練習3：有理数の稠密性】

2つの有理数  $\frac{6}{25}$ ,  $\frac{1}{4}$  の間にある分数のうち、分母が200であるものを求めよ。

### E. 有理数と小数

有理数は筆算により小数 (decimal number) になおすことができるが、次の2種類が存在する。

- $\frac{5}{4} = 1.25$  のような、有限小数 (finite decimal)
  - $\frac{25}{54} = 0.4629629\dots$  のような、無限小数 (infinite decimal)
- ただし、同じ数の並びが繰り返し現れるので、  
 $\frac{25}{54} = 0.4629629629\dots = 0.4\dot{6}2\dot{9}$  のように、循環の始まりと終わりに「 $\dot{\phantom{}}$ 」を付ける。このような小数は循環小数 (circulating decimal) とよぶ。

有限小数	無限小数
$1.25$	$0.46296$
$4 \overline{) 5}$	$54 \overline{) 25}$
$\begin{array}{r} 1\ 2\ 5 \\ 4 \\ \hline 1\ 0 \\ 8 \\ \hline 2\ 0 \\ 2\ 0 \\ \hline 0 \end{array}$	$\begin{array}{r} 0\ 4\ 6\ 2\ 9\ 6 \\ 2\ 1\ 6 \\ \hline 3\ 4\ 0 \\ 3\ 2\ 4 \\ \hline 1\ 6\ 0 \\ 1\ 0\ 8 \\ \hline 5\ 2\ 0 \\ 4\ 8\ 6 \\ \hline 3\ 4\ 0 \\ 3\ 2\ 4 \\ \hline 1\ 6 \end{array}$

ここでおしまい

ずっと続いていく...

逆に、どんな小数も分数に直すことができる。

有限小数は、 $0.234 = \frac{234}{1000} = \frac{117}{500}$  のようにすればよい。

循環小数の場合、たとえば  $0.4\dot{6}2\dot{9}$  を小数に直すには、

$x = 0.4\dot{6}2\dot{9} = 0.4629629629\dots$  とおき、次のようにすればよい\*6。

$$1000x = 462.9629629\dots \quad \leftarrow \text{循環の周期に合わせて、1000倍した}$$

$$-) \quad x = 0.4629629\dots$$

$$999x = 462.5$$

$$\therefore x = \frac{462.5}{999} = \frac{4625}{9990} = \frac{25}{54} \quad \leftarrow \text{記号“\dot{\phantom{}}”は「だから」「つまり」を意味する。たいいていは「だから」と読む。}$$

\*5 このことを、有理数の稠密性 (density) という。

\*6 小数点以降、無限に数が続く数を普通の数のように足したり引いたりできることについての、厳密な根拠は数学 III で学ぶ。

【練習 4 : 有理数と循環小数】

分数は小数で、小数は分数で表せ.

(1)  $\frac{9}{16}$

(2)  $\frac{5}{37}$

(3) 0.625

(4) 0.429

### 3. 実数

#### A. 無理数

有理数でない数のことを**無理数** (irrational number) と言う\*7. 言い換えると、分数で表せない数が無理数である\*8. p.6 に見るように、無理数の例として  $\sqrt{2}$  が挙げられる.



根号  $\sqrt{\quad}$  の近似値は、「開平法について (p.47)」のようにして、筆算で求められる.

#### B. 実数

数直線上に表すことのできる数すべてを、**実数** (real number) という.

すべての小数は数直線上に表すことができる\*9ので、無理数はすべて実数である.

無理数は有理数どうしの間をみっちり埋めている\*10.



みっちり詰まった実数のイメージ

無理数には次のような数が知られている.

$-\sqrt{23}$ ,  $5\sqrt{2}$ , 3 乗して 2 になる数  $\sqrt[3]{2}$ , 円周率  $\pi = 3.1415926\dots$ , ネイピア数\*11  $e = 2.7182818\dots$

今後、 $a$ ,  $b$ ,  $x$  などで数を表すとき、特に断りが無ければ、その数は実数であるとする.

\*7 ir-rational の ir は否定を表す接頭語であり、irrational とは rational でない、つまり、比で表せないという意味である.

\*8 有理数はすべて循環小数になり、循環小数はすべて有理数になった (p.5).

ここから、循環しない小数が有理数ではないことが分かる.

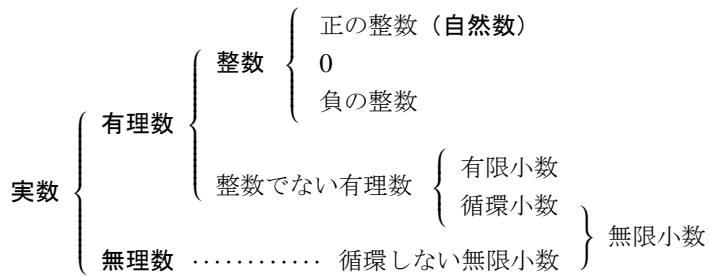
\*9 この事実を厳密に示すことは、より厳密な実数の定義と、デデキントの切断という考え方を必要とし、高校の学習範囲を超えてしまう. ただし、たとえば  $\sqrt{2}$  のような数は右のようにすれば数直線上に表すことができる.

\*10 実数の連続性 (continuity) といい、有理数の稠密性と区別される. 詳しくは数学 III で学ぶ.

\*11 ネイピア数  $e$  について、詳しくは数学 III で学ぶ.

以上見てきたいろいろな数について、まとめると次のようになる.

数の分類



【例題 5】 次の実数について、以下の問に答えよ.

$3, -2, 0, \frac{2}{5}, -\frac{2}{5}, \sqrt{3}, 1.5\dot{2}, \frac{36}{6}, -\sqrt{16}, (\sqrt{5})^2, 2\pi$

- (1) 自然数を選べ.      (2) 整数を選べ.      (3) 有理数を選べ.      (4) 無理数を選べ.

【発展 6:  $\sqrt{2}$  は有理数ではないことの証明】

数学 A で詳しく学ぶ背理法<sup>\*12</sup> (reduction to absurdity) を用いて  $\sqrt{2}$  が有理数でないことを証明せよ.

<sup>\*12</sup> これは、示すべき内容が間違っているものと仮定して矛盾を導き、示すべき内容が正しいと結論する論法である.

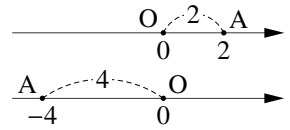
## 4. 絶対値

### A. 絶対値とは

数直線上で、原点  $O$  と点  $A(a)$  の距離のことを  $a$  の絶対値 (absolute value) といい、 $|a|$  と書く\*13. たとえば

$$|2| = 2, \quad |-4| = 4$$

である. 正の数に絶対値記号を付けても値は変わらない.  
また, 負の数に絶対値記号を付けると, 値は  $-1$  倍になる.



【例題 7】 1. から 3. の値を計算し, 4. の問いに答えなさい.

1.  $|-3| + |2|$
2.  $|-3 - 5|$
3.  $x = -2$  のときの,  $|x + 4|$  の値
4.  $|\sqrt{2} - 2|$  の値は  $\sqrt{2} - 2$  に等しいか,  $-(\sqrt{2} - 2)$  に等しいか.

絶対値

$$|a| = \begin{cases} a & (a \geq 0 \text{ のとき}) \\ -a & (a < 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad \leftarrow a \text{ が負の値なので } -a \text{ は正の値}$$

と表すことができる. 絶対値については次式が成り立つ.

$$|a| \geq 0, \quad |a| = |-a|$$

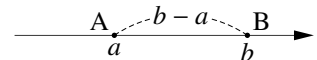
### B. 絶対値と 2 点間の距離

絶対値記号を用いると, 数直線上の 2 点  $A(a)$  と  $B(b)$  の距離  $AB$  は

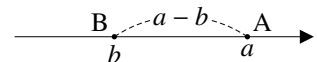
$$AB = |b - a|$$

で表すことができる. この  $|b - a|$  は, 2 つの数  $a$  と  $b$  の差も表している.

$b - a \geq 0$  のとき



$b - a < 0$  のとき



【例題 8】 数直線上に  $A(-4)$ ,  $B(-1)$ ,  $C(2)$ ,  $D(5)$  をとる.  $CD$ ,  $BC$ ,  $AD$ ,  $CA$  をそれぞれ求めよ.

\*13  $|a|$  は「 $a$  (の) 絶対値」と読まれることが多い. たとえば,  $|2|$  ならば「2 (の) 絶対値」と読む.

【例題 9】  $|5|^2$ ,  $|3||-4|$ ,  $\frac{|5|}{|-10|}$  を計算しなさい.

【練習 10 : 絶対値の値】

次の値を計算しなさい.

1.  $x = 2$  のときの,  $|x - 3|$  の値

2.  $|-\sqrt{3}| + |\sqrt{3}|$

3.  $|-3 + \sqrt{5}|$

C. 絶対値の値と場合分け

【例題 11】 次の  $x$  の条件において,  $|x - 2|$  と  $x - 2$  が等しい値になるものをすべて選べ.

1.  $x = 3$     2.  $x = -1$     3.  $x = 1$     4.  $x = 4$     5.  $x < 2$  のとき    6.  $2 \leq x$  のとき

【練習 12：絶対値の場合分け】

以下のそれぞれの場合について、式  $|x-4|+|2x+2|$  の値を計算せよ。

- (1)  $x=5$             (2)  $x=1$             (3)  $x=a$ , ただし  $4 \leq a$             (4)  $x=a$ , ただし  $-1 < a < 4$



この問題のように場合に分けて問題を解くことは、高校の数学において極めて重要である。絶対値を含む問題の他にも、数学 A で学ぶ場合の数・確率などにおいて頻繁に必要とされる。

余談になるが、日常でも場合に分けて考えることは大切である。たとえば、晴れと雨で場合に分けて遠足の予定を立てないと、大変なことになってしまう。

【発展 13：絶対値の性質】

$a, b$  に関して次の等式が成り立つことを証明せよ。ただし、(3) では  $b \neq 0$  とする。

- (1)  $|a|^2 = a^2$             (2)  $|ab| = |a||b|$             (3)  $\left|\frac{a}{b}\right| = \frac{|a|}{|b|}$

これらの性質についてイメージがしやすいよう、具体例を挙げておく。

- (1)  $a = -3$  のとき            (2)  $a = -3, b = 4$  のとき            (3)  $a = -\sqrt{5}, b = 2$  のとき  
 $| -3 |^2 = 9, (-3)^2 = 9$              $| (-3) \times 4 | = 12, | -3 | | 4 | = 12$              $\left| \frac{-\sqrt{5}}{2} \right| = \frac{\sqrt{5}}{2}, \frac{| -\sqrt{5} |}{| 2 |} = \frac{\sqrt{5}}{2}$

絶対値の中が「0 以上か」「負か」で、絶対値の外し方が違うので、場合に分けて示す。



上の等式は、以下のように記憶するとよい。

- (1) 2 乗すると絶対値は外れる(付く)
- (2) 掛け算のところで絶対値は切れる(つながる)
- (3) 割り算のところで絶対値は切れる(つながる)





## 1.2 式の計算

この章では、まず、高校で学ぶような複雑な式を、見通しよく扱うための方法を学ぶ。そして、展開(3.~4.)と因数分解(5.~7.)を学ぶ。

### 1. 単項式

#### A. 単項式と次数

$3abx^2$  のように、いくつかの文字や数を掛け合わせた式を**単項式** (monomial) といい、掛け合わせる文字の個数を**次数** (degree) という。1 や  $-3$  などの数は、文字を含まない単項式とみなし、次数は  $0$  とする\*14。また、数の部分を**係数** (coefficient) という。

次数の大小は、「高い」「低い」で表されることが多い。たとえば、式  $ab$  は、式  $4x$  よりも次数が「高い」。

文字  $a, b, x$  について考える

$$\begin{array}{c} \text{係数} \\ 3abx^2 \end{array}$$

文字が4個掛けているので次数は4

【例題 14】 式  $3b^2$ ,  $-5x^2y$ ,  $-6$ ,  $\frac{1}{3}xz$  について

1. それぞれ係数と次数を答えよ。
2. 一番次数の高い式、低い式をそれぞれ選べ。

#### B. 特定の文字に着目する

単項式において、特定の文字に着目することがある。このとき、その他の文字を数と同様に扱う。たとえば、単項式  $3abx^2$  では以下ようになる。

文字  $x$  の単項式と考えた場合  $3abx^2 = (3ab)x^2$ , 次数は  $2$ , 係数は  $3ab$

文字  $a$  の単項式と考えた場合  $3abx^2 = (3bx^2)a$ , 次数は  $1$ , 係数は  $3bx^2$

文字  $x$  に着目する

$$\begin{array}{c} \text{係数} \\ \overbrace{3ab} x^2 \end{array}$$

$\times 2$ 個なので次数は2

【例題 15】 以下のそれぞれについて、式  $3ka^4b^5$  の次数と係数を答えよ。

1. 文字  $a$  の式と考えたとき
2. 文字  $b$  の式と考えたとき
3. 文字  $a, b$  の式と考えたとき

\*14 ただし、単項式  $0$  については次数を考えない。

通常、次数が  $m$  の式と次数が  $n$  の式の積は次数  $m+n$  の式になるが、単項式  $0$  の次数を考えると、この規則が成り立たなくなってしまう。

$$\underbrace{3ab}_{\text{次数は } 2} \times \underbrace{2xyz}_{\text{次数は } 3} = \underbrace{6abxyz}_{\text{次数は } 5 (= 2 + 3)}$$

【練習 16 : 単項式の次数】

次の多項式について、[ ] 内の文字に着目したときの次数と係数を答えよ。

(1)  $3x^4y^5$  [x], [y], [x と y]

(2)  $2abxy^2$  [x], [y], [x と y]

C. 累乗と指数法則

実数  $a$  を  $n$  個 ( $n \geq 2$ ) 掛け合わせた式  $\overbrace{a \times a \times \cdots \times a}^{n \text{ 個}}$  は  $a^n$  で表され「 $a$  の  $n$  乗」と読む。このとき、 $a$  の右上に書かれた数  $n$  のことを指数 (exponent) という。

$$\underbrace{6 \times 6 \times 6 \times 6}_{4 \text{ 個}} = 6^4 \quad \leftarrow \text{指数は } 4$$

$$\underbrace{\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}}_{3 \text{ 個}} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \quad \leftarrow \text{指数は } 3$$

$a^2$  のことを  $a$  の平方 (square),  $a^3$  のことを  $a$  の立方 (cube) といい、 $a, a^2, a^3, \dots$  を総称して  $a$  の累乗 (power) という。

累乗に関して、一般に次のような指数法則 (exponential law) が成り立つ\*15。

指数法則

$m, n$  が自然数のとき一般に次のような性質が成り立つ。

i)  $a^m a^n = a^{m+n}$

ii)  $(a^m)^n = a^{mn}$

iii)  $(ab)^n = a^n b^n$



この指数法則は、暗記するようなものではない。仕組みを理解して慣れよう。なお、「 $\cdot$ 」は掛け算を表す。たとえば、 $4 \cdot 2x = 8x$  となる。今後、頻繁に用いられる記号なので覚えておこう。

i)  $a^2 \times a^4 = \underbrace{(a \times a)}_{2 \text{ 個}} \cdot \underbrace{(a \times a \times a \times a)}_{4 \text{ 個}} = a^6 (= a^{2+4})$

ii)  $(a^2)^4 = \underbrace{(a \times a)}_{2 \text{ 個}} \cdot \underbrace{(a \times a)}_{2 \text{ 個}} \cdot \underbrace{(a \times a)}_{2 \text{ 個}} \cdot \underbrace{(a \times a)}_{2 \text{ 個}} = a^8 (= a^{2 \times 4})$

iii)  $(a \times b)^4 = \underbrace{(a \times b) \cdot (a \times b) \cdot (a \times b) \cdot (a \times b)}_{a \text{ も } b \text{ も } 4 \text{ 個ずつ}} = a^4 \times b^4$

【例題 17】 次の式を計算して簡単にせよ。

1.  $x^2 \times x^3$

2.  $(x^2)^3$

3.  $(x^3)^5$

4.  $(xy^2)^3$

5.  $(2a^3)^2$

6.  $(-a)^3$

\*15 今のところ、指数は自然数だが、数学 II においては整数や有理数などへと拡張させていく。

## 2. 多項式

### A. 多項式 — 複数の「項」の式

$2a - 3b^2 + ab$  のように、いくつかの単項式の和や差として表される式を**多項式** (polynomial) という (整式 (integral expression) ともいう\*16).

多項式を構成する単項式を、**項** (term) という. 特に、0 次の項のことを**定数項** (constant term) という. たとえば、多項式  $2a - 3b^2 - 4 + ab$  の項は、 $2a, -3b^2, -4, ab$  (または  $+ab$ ) であり、定数項は  $-4$  である. 負の符号も含めて項ということに注意しよう\*17.

### B. 同類項をまとめる

多項式の項のうち、文字の部分と同じである項どうしを**同類項** (similar term) という. 多項式の加法と減法は、同類項をまとめることによって行われる.

$$\begin{aligned}
 5a^2b + 3ab + 3 - a^2b + 2ab &= (5a^2b - a^2b) + (3ab + 2ab) + 3 \\
 &= 4a^2b + 5ab + 3
 \end{aligned}$$

(同類項) (同類項) (定数項)

たとえば、 $A = 3x^2 - 2x + 1$ ,  $B = 2x^2 + 7x - 3$  のとき

#### 多項式の加法

$$\begin{aligned}
 A + B &= (3x^2 - 2x + 1) + (2x^2 + 7x - 3) \\
 &= 3x^2 - 2x + 1 + 2x^2 + 7x - 3 && \leftarrow \text{かっこをはずした} \rightarrow \\
 &= (3x^2 + 2x^2) + (-2x + 7x) + (1 - 3) && \leftarrow \text{同類項をまとめた} \rightarrow \\
 &= 5x^2 + 5x - 2
 \end{aligned}$$

#### 多項式の減法

$$\begin{aligned}
 A - B &= (3x^2 - 2x + 1) - (2x^2 + 7x - 3) \\
 &= 3x^2 - 2x + 1 - 2x^2 - 7x + 3 \\
 &= (3x^2 - 2x^2) + (-2x - 7x) + (1 + 3) \\
 &= x^2 - 9x + 4
 \end{aligned}$$



同類項を縦に並べると、計算がしやすくなる.

$$\begin{array}{rcl}
 A + B & = & 3x^2 - 2x + 1 \\
 & + & 2x^2 + 7x - 3 \\
 \hline
 & = & 5x^2 + 5x - 2
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 A - B & = & 3x^2 - 2x + 1 \\
 & - & 2x^2 + 7x - 3 \\
 \hline
 & = & x^2 - 9x + 4
 \end{array}
 \qquad \leftarrow \text{かっこをはずし, 同類項を縦に並べた}$$

### 【例題 18】

- $2ab + a^2c - 3c - 2a^2c$  の同類項をまとめ、項をすべて答え、定数項があれば答えよ.
- $X = a^2 + 3a - 5$ ,  $Y = 2a^2 + 3a + 5$  のとき、 $X + Y$ ,  $X - Y$  を求めよ.

\*16 「多項式」と「単項式」をまとめて「整式」と定める言い方もある.

\*17 単項式は多項式の特別なものであり、「項が 1 つの多項式」が単項式であると言える.

【練習 19：指数法則】

次の計算をなさい。

(1)  $2a^3b \times (a^2)^2$

(2)  $(4x^2y)^2 \times 2xy$

(3)  $(3xy^3)^2 \times \frac{1}{3}xy^2$

(4)  $a$  の平方の立方は、 $a$  の何乗か。

C. 多項式の次数

多項式の次数は、各項の次数のうち最大のもので定義される。次数が  $n$  の多項式を、単に  $n$  次式 (expression of degree  $n$ ) という。たとえば、 $4a^2b + 5ab$  は ( $a$  と  $b$  について) 3 次式である (右図参照)。

$$4a^2b + 5ab$$

次数は 3
次数は 2

多項式の次数は(大きい方の)3  
つまり 3 次式

D. 降べきの順 — 式が見やすいように

多項式の項を、次数が低くなる順に並べ替えることを、「降べきの順 (descending order of power) に整理する」という<sup>\*18</sup>。たとえば、多項式  $-3x^2 - 7 + 4x^3 + x$  を ( $x$  について) 降べきの順に整理してみよう。

$$\begin{array}{ccccccc}
 -3x^2 & - & 7 & + & 4x^3 & + & x & = & 4x^3 & - & 3x^2 & + & x & - & 7 \\
 \underbrace{2 \text{ 次}} & & \underbrace{0 \text{ 次}} & & \underbrace{3 \text{ 次}} & & \underbrace{1 \text{ 次}} & & \underbrace{3 \text{ 次}} & & \underbrace{2 \text{ 次}} & & \underbrace{1 \text{ 次}} & & \underbrace{0 \text{ 次}} \\
 \text{次数の大きさがばらばら} & & & & & & & & \text{次数が順に低くなる} & & & & & & 
 \end{array}$$

これによって式が見やすくなり、展開・因数分解・値の代入などがやりやすくなる。

… 今後は、降べきの順に整理する習慣をつけよう<sup>\*19</sup>。

【例題 20】

1. 多項式  $3x^3 - 3x^2 + 1 + x^3$  の同類項をまとめ、降べきの順に整理すると **ア** となる。  
この式の次数は **イ** であり、項をすべて挙げると **ウ**、定数項は **エ** である。
2. 多項式  $2x + 3x^2 - x^2 - 4x - 5$  の同類項をまとめ、降べきの順に整理すると **オ** となる。  
この式の次数は **カ** であり、項をすべて挙げると **キ**、定数項は **ク** である。

<sup>\*18</sup> 逆に、次数が高くなる順に整理することを「昇べきの順 (ascending order of power) に整理する」という。たとえば、 $-3x^2 - 7 + 4x^3 + x = -7 + x - 3x^2 + 4x^3$  のようになる。ただし、高校ではあまり用いられない。

<sup>\*19</sup> ただし、対称性をもつ  $ab + bc + ca$  のような式は、例外として、降べきの順にする必要がないこともある。

### E. 特定の文字でまとめる

多項式においても，特定の文字に着目し，他の文字を数とみなすことがある。

たとえば，多項式  $bx - ax^3y + y^2 + y$  について考えてみよう。

$x$  について降べきの順に整頓したとき

$$\begin{array}{cccc}
 bx & - & ax^3y & + y^2 + y \\
 1次 & & 3次 & 0次
 \end{array}$$

$$= \overbrace{-ay}^{\text{係数}} x^3 + \overbrace{b}^{\text{係数}} x + \overbrace{(y^2 + y)}^{\text{定数項}}$$

- 次数は 3 ( $x$  について 3 次式)
- $x^3$  の係数は  $-ay$ ， $x$  の係数は  $b$
- 定数項は  $y^2 + y$

$y$  について降べきの順に整頓したとき

$$\begin{array}{cccc}
 -ax^3y & + & bx & + y^2 + y \\
 1次 & & 0次 & 2次 1次
 \end{array}$$

$$= y^2 - ax^3y + y + bx$$

$$= y^2 + \overbrace{(-ax^3 + 1)}^{\text{係数}} y + \overbrace{bx}^{\text{定数項}}$$

- 次数は 2 ( $y$  について 2 次式)
- $y^2$  の係数は 1， $y$  の係数は  $-ax^3 + 1$
- 定数項は  $bx$

$-ax^3 + 1$  のように，定数項や係数が 2 つ以上の項からなる場合は，上のように ( ) でまとめる。

**【例題 21】** 次の多項式を  $x$  について降べきの順に整理し， $x^2$  の係数， $x$  の係数，定数項を答えよ。

1.  $x^2 + 2y^2 - 3xy + 4y^2 + 2xy$       2.  $-x^2 + xy^2 - 3xy^2 + 2x^2$       3.  $3x^2 - 12xy + 4 + 3x^2 - 2x + 5$

**【練習 22 : 降べきの順】**

- (1)  $4a^2 + a^3 - 3 + a^2 - 1$  を整理し，降べきの順に整理しなさい．また，この式は何次式か．  
 (2) 次の多項式について，[ ] 内の文字に着目して降べきの順に並べ，式の次数，定数項を答えよ．  
 1)  $2cb - 3a - 2c^2a$  [c]    2)  $3k^2x + 2kx^2 + 4kx + 4k - 3$  [x]

**F. 分配法則，交換法則，展開**

分配法則  $A(B + C) = AB + AC$ ， $(A + B)C = AC + BC$ ，交換法則  $AB = BA$  は多項式においても成立する．たとえば，これを使って  $(x^2 + 3)(x^2 - 4x + 5)$  は次のように計算する．

$$\begin{aligned}
 (x^2 + 3)(x^2 - 4x + 5) &= (x^2 + 3)A && \leftarrow x^2 - 4x + 5 \text{ を } A \text{ とおいた} \\
 &= x^2A + 3A && \leftarrow \text{分配法則 } (A + B)C = AC + BC \text{ を使った} \\
 &= x^2(x^2 - 4x + 5) + 3(x^2 - 4x + 5) && \leftarrow A \text{ を } x^2 - 4x + 5 \text{ に戻した} \\
 &= x^4 - 4x^3 + 5x^2 + 3x^2 - 12x + 15 && \leftarrow \text{分配法則 } A(B + C) = AC + BC \text{ を使った} \\
 &= x^4 - 4x^3 + 8x^2 - 12x + 15 && \leftarrow \text{同類項でまとめ降べきの順に並べた}
 \end{aligned}$$

ここでは， $x^2 - 4x + 5$  を A とおいて計算した．結果的に，**i つの多項式を i つの文字のようにして扱った**ことになる．この見方は今後，極めて重要となる．

ただし上の計算については，慣れてくると，左下のように計算できるようになる．

$$\begin{aligned}
 (x^2 + 3)(x^2 - 4x + 5) &= x^4 - 4x^3 + 5x^2 + 3x^2 - 12x + 15 \\
 &= x^4 - 4x^3 + 8x^2 - 12x + 15
 \end{aligned}$$

	$x^2$	$-4x$	5
$x^2$	$x^4$ ①	$-4x^3$ ②	$5x^2$ ③
3	$3x^2$ ④	$-12x$ ⑤	15 ⑥

表の①, ②, ... は，左の式の①, ②, ... に対応している．

このように，「多項式どうしの積\*20を計算して，単項式だけの和にすること」を**展開 (expansion) する**という．0 でない 2 つの多項式について，次数が  $m$  の式と次数が  $n$  の式の積を展開すると，次数  $m + n$  の多項式になる．

\*20 多項式の除法は数学 II で学ぶ．

【練習 23：展開の基礎～その 1～】

$A$  が次の式のと看、 $(3x+y)A$  を展開し、 $x$  についての降べきの順に整理しなさい。

(1)  $A = x + y$

(2)  $A = 2x^2 - 3x + 5$

(3)  $A = 2x - 6y + 1$

【練習 24：展開の基礎～その 2～】

$A = 2x + y$ ,  $B = 3x - 2y - 1$  のとき、以下の問いに答えよ。

(1) 積  $AB$  を展開し、 $x$  についての降べきの順に整理しなさい。

(2) 積  $AB$  の  $x$  の係数が 3 に等しいとき、 $y$  の値を求めなさい。

### 3. 多項式の乗法の公式



今後出てくる公式については、掛け算の九九のようなものだと思って繰り返し練習しよう。慣れてくると多項式の展開が格段に早く正確になる。

#### A. 中学の復習

左の「i) うまい計算のやり方 (○)」で、反射的にできるように復習しよう。

平方の公式

$$1^\circ (a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2, \quad (a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} (3x+2)^2 &= \underbrace{9x^2 + 2 \cdot (3x) \cdot 2 + 4}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 9x^2 + 12x + 4 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} (3x+2)^2 &= (3x+2)(3x+2) \\ &= 9x^2 + 6x + 6x + 4 \\ &= 9x^2 + 12x + 4 \end{aligned}$$

和と差の積の公式

$$2^\circ (a+b)(a-b) = a^2 - b^2$$

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} (5x+2y)(5x-2y) \\ &= \underbrace{(5x)^2 - (2y)^2}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 25x^2 - 4y^2 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} (5x+2y)(5x-2y) \\ &= 25x^2 - 10xy + 10yx - 4y^2 \\ &= 25x^2 - 4y^2 \end{aligned}$$

1次式の積の公式～特殊形

$$3^\circ (x+b)(x+d) = x^2 + (b+d)x + bd$$

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} (x+3y)(x-4y) \\ &= \underbrace{x^2 + (3y-4y)x + (3y) \cdot (-4y)}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= x^2 - xy - 12y^2 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} (x+3y)(x-4y) \\ &= x^2 - 4xy + 3yx - 12y^2 \\ &= x^2 - xy - 12y^2 \end{aligned}$$



【例題 25】 以下の展開をしなさい。ただし，4. 以降は  $A = x - 3$ ,  $B = x + 3$ ,  $C = x - 1$  とする。

1.  $(a + 4)^2$     2.  $(x + 2y)(x - 2y)$     3.  $(p + 2)(p - 4)$     4.  $A^2$     5.  $AB$     6.  $AC$

### B. 分母の有理化

分母に根号 ( $\sqrt{\quad}$ ) をもつ分数において，分母の根号を無くし，有理数に変えることを，分母の有理化 (rationalization) という\*21。

$$\begin{aligned} \frac{3}{\sqrt{3} - \sqrt{2}} &= \frac{3(\sqrt{3} + \sqrt{2})}{(\sqrt{3} - \sqrt{2})(\sqrt{3} + \sqrt{2})} && \leftarrow \text{分母と分子に } (\sqrt{3} + \sqrt{2}) \text{ を掛ける} \\ &= \frac{3(\sqrt{3} + \sqrt{2})}{(\sqrt{3})^2 - (\sqrt{2})^2} = 3\sqrt{3} + 3\sqrt{2} && \leftarrow \text{『和と差の積の公式』(p.18)} \end{aligned}$$

【例題 26】 以下の分数の分母を有理化しなさい。

1.  $\frac{4}{\sqrt{6} + \sqrt{2}}$                       2.  $\frac{\sqrt{6} + \sqrt{3}}{\sqrt{3} + 1}$                       3.  $\frac{\sqrt{5} + \sqrt{2}}{\sqrt{5} - \sqrt{2}}$

\*21 これによって，近似値を求めやすくなる。下の例でいえば ( $\sqrt{2} \cong 1.414$ ,  $\sqrt{3} \cong 1.732$  とする)

$$\frac{3}{\sqrt{3} - \sqrt{2}} \cong 3 \div (1.732 - 1.414) = 3 \div 0.318, \quad 3\sqrt{3} + 3\sqrt{2} \cong 3 \times (1.732 + 1.414) = 3 \times 3.146$$

【練習 27 : 分母の有理化】

分数  $\frac{2}{\sqrt{7} + \sqrt{3}}$ ,  $\frac{\sqrt{6} + 2}{\sqrt{6} - 2}$  を有理化しなさい.

C. 1 次式の積の一般的な公式

$(ax + b)(cx + d)$  を展開すると

$$(ax + b)(cx + d) = acx^2 + \overset{\textcircled{1}}{adx} + \overset{\textcircled{2}}{bcx} + \overset{\textcircled{3}}{bd} = acx^2 + \underbrace{(ad + bc)}_{\text{外どうしの積} + \text{中どうしの積}}x + bd$$

	$cx$	$d$
$ax$	$acx^2$	$adx$
$b$	$bcx$	$bd$

となる. これを使い, たとえば  $(2x + 3y)(5x - 4y)$  は次のように計算する.

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} & (2x + 3y)(5x - 4y) \\ &= \underbrace{10x^2 + (-8y + 15y)x + (3y) \cdot (-4y)}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 10x^2 + 7xy - 12y^2 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} & (2x + 3y)(5x - 4y) \\ &= 10x^2 - 8xy + 15yx - 12y^2 \\ &= 10x^2 + 7xy - 12y^2 \end{aligned}$$

1 次式の積の公式～一般形

$$4^\circ (ax + b)(cx + d) = acx^2 + (ad + bc)x + bd$$



この公式の  $(ad + bc)$  の部分は「(外どうしの積  $(ad)$ ) + (中どうしの積  $(bc)$ )」と覚えるとよい.

【例題 28】 次の多項式を展開し整理せよ.

1.  $(x + 2)(2x + 1)$     2.  $(2x + 3)(3x - 2)$     3.  $(5x - 3y)(2x - y)$     4.  $(3x - y)(2x + 3y)$

### D. 立方の公式 1

$(a+b)^3$  を展開すると

$$(a+b)^3 = (a+b)(a+b)^2 = (a+b)(a^2 + 2ab + b^2)$$

$$= a^3 + 2a^2b + ab^2 + ba^2 + 2ab^2 + b^3$$

$$= a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

	$a^2$	$2ab$	$b^2$
$a$	$a^3$	$2a^2b$	$ab^2$
$b$	$ba^2$	$2ab^2$	$b^3$

となる。これを使い、たとえば  $(2x+y)^3$  は次のように計算する。

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} & (2x+y)^3 \\ &= \underbrace{(2x)^3 + 3 \cdot (2x)^2y + 3 \cdot (2x)y^2 + y^3}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 8x^3 + 12x^2y + 6xy^2 + y^3 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} & (2x+y)^3 \\ &= (2x+y)(2x+y)^2 \\ &= (2x+y)(4x^2 + 4xy + y^2) \\ &= 8x^3 + 8x^2y + 2xy^2 + 4x^2y + 4xy^2 + y^3 \\ &= 8x^3 + 12x^2y + 6xy^2 + y^3 \end{aligned}$$

次ページで見るように、 $(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$  も成り立つ。

立方の公式 1

$$5^\circ (a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3, \quad (a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$$

#### 【例題 29】

- $a = 5x, b = 2$  のとき、 $3a^2b, 3ab^2$  の値をそれぞれ求めよ。
- 次の多項式を展開せよ。

(a)  $(x+2)^3$

(b)  $(x+4)^3$

(c)  $(2x+1)^3$

(d)  $(3x+2)^3$

$(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$  については、公式  $(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$  で処理するほうがよい。たとえば、 $(a-2b)^3$  の計算は次のようになる。

$$\begin{aligned}(a-2b)^3 &= \{a + (-2b)\}^3 && \leftarrow 2b \text{ を引くことと } (-2b) \text{ を足すことは同じ} \\ &= a^3 + 3 \cdot a^2(-2b) + 3 \cdot a(-2b)^2 + (-2b)^3 && \leftarrow \text{慣れると省略できる} \\ &= a^3 - 6a^2b + 12ab^2 - 8b^3\end{aligned}$$

… 一般の  $(a+b)^n$  の展開については数学 A で学ぶ。

$$\begin{aligned}(a+b)^4 &= a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4 \\ (a+b)^5 &= a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5\end{aligned}$$

**【練習 30：多項式の展開～立方の公式 1】**

次の多項式を展開せよ。

(1)  $(a-4)^3$                       (2)  $(3a-2)^3$                       (3)  $(2a+5)^3 + (2a-5)^3$

**【練習 31：1 次式の積の公式】**

次の多項式を展開しなさい。

(1)  $(x+1)(x+2)$                       (2)  $(x+4)(2x-3)$                       (3)  $(4x+3)(x-3)$                       (4)  $(3x-1)(x-3)$   
(5)  $(x+2y)(x-3y)$                       (6)  $(3x+y)(4x-y)$                       (7)  $(2x+5y)(3x-y)$                       (8)  $(2x-y)(5x+y)$

… 「外どうしの積+中どうしの積」を暗算でできるようにしよう。

## E. 立方の公式 2

$(a+b)(a^2-ab+b^2)$  を展開すると

$$(a+b)(a^2-ab+b^2) = \overset{\textcircled{1}}{a^3} - \overset{\textcircled{2}}{a^2b} + \overset{\textcircled{3}}{ab^2} + \overset{\textcircled{4}}{ba^2} - \overset{\textcircled{5}}{ab^2} + \overset{\textcircled{6}}{b^3} = a^3 + b^3$$

	$a^2$	$-ab$	$b^2$
$a$	$a^3$	$-a^2b$	$ab^2$
$b$	$ba^2$	$-ab^2$	$b^3$

となる. これを使い, たとえば  $(3x+1)(9x^2-3x+1)$  は次のように計算する.

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} & (3x+1)(9x^2-3x+1) \\ &= \underbrace{(3x+1)\{(3x)^2 - (3x) \cdot 1 + 1^2\}}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 27x^3 + 1 \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} & (3x+1)(9x^2-3x+1) \\ &= 27x^3 - 9x^2 + 3x + 9x^2 - 3x + 1 \\ &= 27x^3 + 1 \end{aligned}$$

また, 同様に  $(a-b)(a^2+ab+b^2) = a^3 - b^3$  も成り立つ.

立方の公式 2

$$6^\circ (a+b)(a^2-ab+b^2) = a^3 + b^3, \quad (a-b)(a^2+ab+b^2) = a^3 - b^3$$



左辺の  $a \pm b$  と右辺の  $a^3 \pm b^3$  は符号が一致する, と覚えておこう.

ただし, この公式を展開のために使う機会は少なく, p.36 における「因数分解」で(逆方向に)よく利用される.

### 【例題 32】

- $(x+2)(x^2-2x+4)$ ,  $(ab-3)(a^2b^2+3ab+9)$  を展開せよ.
- 次の中から,  $8x^3+27$  になるもの,  $8x^3-27$  になるものを 1 つずつ選べ.
  - $(2x+3)(4x^2+6x+9)$
  - $(2x+3)(4x^2-6x+9)$
  - $(2x+3)(4x^2-6x-9)$
  - $(2x-3)(4x^2+6x+9)$
  - $(2x-3)(4x^2-6x+9)$
  - $(2x-3)(4x^2-6x-9)$

## F. 展開公式のまとめ

最も大事なことは、「いつ、どの展開公式を使うのか」見極めることである。

### 【練習 33：多項式の展開の練習～その 1～】

次の多項式を展開せよ。

(1)  $(2x - 5y)(2x + 5y)$

(2)  $(x + 5)(x - 8)$

(3)  $(2x - 5)(4x^2 + 10x + 25)$

(4)  $(x - 3)^3$

(5)  $(2x + 1)(x - 3)$

(6)  $\left(\frac{1}{2}x + \frac{1}{3}y\right)^2$

(7)  $(3a - 2)(4a + 1)$

(8)  $(a - 4)(3a + 12)$

(9)  $(a^2 - 3)(a^2 + 7)$

(10)  $\left(3a - \frac{1}{2}b\right)^2$

(11)  $(-2ab + 3c)(2ab + 3c)$

(12)  $\left(a + \frac{1}{2}b\right)^3$

(13)  $(p + q)(3p^2 - 3pq + 3q^2)$

(14)  $(2x + 4y)^3$

## 4. 展開の工夫

3. 『多項式の乗法の公式』で学んだ公式を工夫して用いると、複雑な式の計算がかなり容易にできるようになる。ここでは、代表的な2つの工夫の方法を取り上げる。

### A. 式の一部をまとめる

多項式の一部を1つの文字とおくと、今までの公式がより広く使える。たとえば

$$\begin{aligned}(x+y+3)(x+y-2) &= (M+3)(M-2) && \leftarrow M=x+y \text{とおき, 式の一部を一つの文字とみなす} \\ &= M^2 + M - 6 && \leftarrow \text{『1次式の積の公式～特殊形』(p.18)} \\ &= (x+y)^2 + (x+y) - 6 && \leftarrow M \text{を } x+y \text{に戻す} \\ &= x^2 + 2xy + y^2 + x + y - 6 && \leftarrow \text{『平方の公式』(p.18)}\end{aligned}$$

のように展開できる。

次に、 $(x+y-z)(x-y+z)$ の展開を考える。 $-y+z=-(y-z)$ に注意して、次のように計算できる。

$$\begin{aligned}(x+y-z)(x-y+z) &= \{x+(y-z)\}\{x-(y-z)\} && \leftarrow -y+z=-(y-z) \\ &= (x+A)(x-A) && \leftarrow A=y-z \text{とおき, 式の一部を一つの文字とみなす} \\ &= x^2 - A^2 && \leftarrow \text{『和と差の積の公式』(p.18)} \\ &= x^2 - (y-z)^2 && \leftarrow A \text{を } y-z \text{に戻す} \\ &= x^2 - (y^2 - 2yz + z^2) && \leftarrow \text{『平方の公式』(p.18)} \\ &= x^2 - y^2 + 2yz - z^2 && \leftarrow \text{符号に注意して( )を外す}\end{aligned}$$

【例題 34】 次の多項式を展開せよ。

1.  $(x+y-5)(x+y+3)$

2.  $(x+y+z)(x+y-z)$

3.  $(a^2+a-1)(a^2-a-1)$



慣れるまでは、式の一部や共通部分を  $A$  や  $X$  などでおきかえよう。そして最終的には、前の例題のようにおきかえずにできるようになろう。

### B. 3項の平方の公式

式の一部をまとめることによって、 $(a + b + c)^2$  の展開は次のようにできる。

$$\begin{aligned} (a + b + c)^2 &= \{(a + b) + c\}^2 = (a + b)^2 + 2(a + b)c + c^2 && \leftarrow a + b \text{ をまとめて考えて『平方の公式』(p.18)} \\ &= a^2 + 2ab + b^2 + 2ca + 2bc + c^2 && \leftarrow \text{『平方の公式』(p.18)} \\ &= a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca && \leftarrow \text{この順番にすると式が見やすい} \end{aligned}$$

であるから、 $(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca$  が成り立つ。

この展開の結果は、3項の平方の公式とよばれ、たとえば  $(2x + y - 3)^2$  は次のように計算できる。

i) うまい計算のやり方 (○)

$$\begin{aligned} &(2x + y - 3)^2 \\ &= \underbrace{(2x)^2 + y^2 + 3^2 + 2 \cdot 2xy + 2 \cdot y(-3) + 2 \cdot (-3)2x}_{\text{慣れると省略できる}} \\ &= 4x^2 + y^2 + 9 + 4xy - 6y - 12x \end{aligned}$$

ii) 普通の計算のやり方 (×)

$$\begin{aligned} &(2x + y - 3)^2 \\ &= (2x + y - 3)(2x + y - 3) \\ &= 4x^2 + 2xy - 6x + 2yx + y^2 - 3y - 6x - 3y + 9 \\ &= 4x^2 + y^2 + 9 + 4xy - 6y - 12x \end{aligned}$$

3項の平方の公式

$$7^\circ (a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca$$

【例題 35】 次の多項式を展開せよ。

1.  $(3a - b + 3c)^2$

2.  $(a^2 + a - 1)^2$

### C. 掛け算の順序の工夫

$14 \times 16 \times 5$  の計算は、 $14 \times (16 \times 5) = 14 \times 80$  とすると楽にできる。

多項式の展開においても、掛け算の順序を考えると計算が楽にできることがある。

$$\begin{aligned} &(a - b)^2(a + b)(a^2 + ab + b^2) && \leftarrow \text{前から順に計算するととても大変} \\ &= (a - b)(a + b)(a - b)(a^2 + ab + b^2) && \leftarrow (a - b) \text{ は } (a + b) \text{ と相性がいい} \\ &= \{(a - b)(a + b)\} \{(a - b)(a^2 + ab + b^2)\} && \leftarrow (a - b) \text{ は } (a^2 + ab + b^2) \text{ と相性がいい} \\ &= (a^2 - b^2)(a^3 - b^3) && \leftarrow \text{『和と差の積の公式』(p.18) と『立方の公式1』(p.21)} \\ &= a^5 - a^3b^2 - a^2b^3 + b^5 \end{aligned}$$



p.12 で学んだ  $A^3B^3 = (AAA) \cdot (BBB) = (AB) \cdot (AB) \cdot (AB) = (AB)^3$  も重要な働きをする.

$$\begin{aligned}
 & (x+1)^3(x-1)^3 && \leftarrow (x+1)(x-1) \text{ を } 3 \text{ 回掛けることと同じ} \\
 = & \{(x+1)(x-1)\}^3 \\
 = & (x^2-1)^3 && \leftarrow \text{「和と差の積の公式」(p.18)} \\
 = & x^6 - 3x^4 + 3x^2 - 1 && \leftarrow \text{「立方の公式1」(p.21), } (x^2)^3 = x^2 \cdot x^2 \cdot x^2 = x^6 \text{ に注意}
 \end{aligned}$$

掛け算の順序を工夫して、共通する式を作ることができる場合もある.

$$\begin{aligned}
 & (x+1)(x+3)(x-2)(x-4) && \leftarrow +1-2 \text{ も } +3-4 \text{ も同じ結果になることに注目} \\
 = & \{(x+1)(x-2)\} \{(x+3)(x-4)\} && \leftarrow \text{掛け算の順序を入れ替えた} \\
 = & (x^2-x-2)(x^2-x-12) && \leftarrow x^2-x \text{ が共通している} \\
 = & \{(x^2-x)-2\} \{(x^2-x)-12\} \\
 = & (x^2-x)^2 - 14(x^2-x) + 24 && \leftarrow x^2-x \text{ について展開した} \\
 = & (x^4 - 2x^3 + x^2) - 14x^2 + 14x + 24 && \leftarrow (x^2-x)^2 \text{ の展開でミスをしないように} \\
 = & x^4 - 2x^3 - 13x^2 + 14x + 24 && \leftarrow \text{同類項をまとめた}
 \end{aligned}$$

**【例題 36】** 次の多項式を展開せよ.

1.  $(x-1)(x-3)(x+3)(x+1)$

2.  $(a+b)^3(a-b)^3$

3.  $(a-1)(a-2)(a-3)(a-4)$

【発展 37 : 多項式の展開の練習～その2～】

次の多項式を展開せよ.

①  $(2a - b + c)(2a + b + c)$

②  $(x + y + z + w)(x + y - z - w)$

③  $(x - 4)^2(x + 5)^2$

④  $(x + y)(x - y)(x^2 + xy + y^2)(x^2 - xy + y^2)$

⑤  $(a + b)^2(a - b)^2(a^2 + b^2)^2$


⑥  $(x - 1)(x + 2)(x - 3)(x + 4)$

## 5. 多項式の因数 — 因数分解の基礎

### A. 因数と因数分解

1つの多項式  $A$  が、多項式  $B, C, \dots$  の積で書けるとき、 $B$  や  $C$  を、 $A$  の**因数** (factor) という\*22.

1つの多項式  $A$  を複数の因数に分解することを  $A$  の**因数分解** (factorization) という. 特に断りがなければ、係数が整数の範囲でそれ以上分解できない形まで因数分解する\*23.

 因数は、整数における「約数」にほぼ対応する.

$$\begin{aligned}2a^2 - 4ab &= 1 \cdot \underline{(2a^2 - 4ab)} \\ &= \underline{2} \cdot \underline{(a^2 - 2ab)} \\ &= \underline{2a} \cdot \underline{(a - 2b)} \\ &= \underline{2} \cdot \underline{a} \cdot \underline{(a - 2b)}\end{aligned}$$

— のあるものは、  
全て  $2a^2 - 4ab$  の因数

### B. 共通因数

多項式において、各項に共通する因数を**共通因数** (common factor) という.

多項式の各項に共通因数があれば、まず、それをかっこの外にくくり出す\*24. 共通因数をくくり出すことは、因数分解において最も基本的、同時に最も重要な手段である.

$$\begin{aligned}2x^2y + 3xy^2 + xy &= 2x(\underline{xy}) + 3y(\underline{xy}) + 1(\underline{xy}) & 3a(\underline{x+y}) + 2b(\underline{x+y}) &= (3a + 2b)(x + y) \\ & \quad \text{共通の因数} & \quad \text{共通の因数}\end{aligned}$$
$$= xy(2x + 3y + 1)$$

【例題 38】 次の式を因数分解せよ.

1.  $2p^2q + pq^3 - 2pq$

2.  $a(x + y) - b(x + y)$

3.  $p(2x - y) + q(y - 2x)$

\*22 ただし、多項式 1 は因数に含めない.

\*23 「素数」の役割をする多項式は高校数学では扱われないためではあるが、本来は「素因数分解」と言うべきである.

\*24 共通しない部分を括弧でくくり、共通する因数をその外に出すため、この動詞が頻繁に使われる. この操作は、分配法則の逆の操作であり、左にくくり出しても、右にくくり出してもよい.

### 【練習 39：共通因数による因数分解】

次の式を因数分解せよ.

(1)  $6a^2b + 4ab^2 - 2ab$       (2)  $x(s + 2t) - y(s + 2t)$       (3)  $3a(x - y) + 6b(x - y) + 9c(y - x)$

### C. 因数分解の目的

たとえば、2002 と  $2 \times 7 \times 11 \times 13$  は同じ数を表わすが、この 2 つの表し方にはそれぞれ長所がある.

まず、2002 という表現は、個数や大きさを表すのに適している. だから、私たちは「 $(2 \times 7 \times 11 \times 13)$  個のりんご」とは言わず「2002 個のりんご」と言う. 一方、 $2 \times 7 \times 11 \times 13$  という表現は 2002 という数のもつ約数についての性質（たとえば、「13 で割り切れる」など）をよく表しており、時に有用である.

式においても同様に、等しい 2 つの式  $3x^2 - 5x + 2 = (3x - 2)(x - 1)$  のそれぞれに長所がある.

$3x^2 - 5x + 2$  は

- 何次式かがわかりやすい
- 平方完成<sup>\*25</sup>や、微分・積分がしやすい<sup>\*25</sup>

$(3x - 2)(x - 1)$  は

- 方程式・不等式が解きやすい<sup>\*26</sup>
- 因数が見やすい

つまり、どちらの形にも長所があり、場合に応じて使い分けられないといけない. そのために、展開・因数分解どちらの操作も、手早く正確にできなければならない.

$(3x - 2)(x - 1) \rightarrow 3x^2 - 5x + 2$  の操作（展開）

$3x^2 - 5x + 2 \rightarrow (3x - 2)(x - 1)$  の操作（因数分解）

<sup>\*25</sup> 平方完成は数学 I で、微分・積分は数学 II で学ぶ.

<sup>\*26</sup> 2 次方程式・不等式は数学 I で学ぶ. 数学 II 以降でも、様々な方程式・不等式を学ぶ.

## 6. 多項式の因数分解の公式

共通因数が無くても、展開の公式を逆に使えば因数分解をできることがある。

### A. 中学の復習

$9x^2 + 6xy + y^2$  には共通因数が無いが、以下のように因数分解できる。

i) 因数分解

$$\begin{aligned} 9x^2 + 6xy + y^2 &= (3x)^2 + 2 \cdot (3x) \cdot y + y^2 \\ &= (3x + y)^2 \end{aligned}$$

ii) その元となっている展開計算

$$\begin{aligned} (3x + y)^2 &= (3x)^2 + 2 \cdot (3x) \cdot y + y^2 \\ &= 9x^2 + 6xy + y^2 \end{aligned}$$

— 平方の公式 (p.18) の逆利用 —

$$1^\circ a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2, \quad a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)^2$$


$16a^2 - b^2$  には共通因数が無いが、以下のように因数分解できる。

i) 因数分解

$$\begin{aligned} 16a^2 - b^2 &= (4a)^2 - b^2 \\ &= (4a + b)(4a - b) \end{aligned}$$

ii) その元となっている展開計算

$$\begin{aligned} (4a + b)(4a - b) &= (4a)^2 - b^2 \\ &= 16a^2 - b^2 \end{aligned}$$

  $\square^2 - \triangle^2$  の形を見たら因数分解，とすぐに気付けるようになる。

— 和と差の積の公式 (p.18) の逆利用 —

$$2^\circ a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$x^2 + 5x + 6$  には共通因数が無いが、以下のように因数分解できる。

i) 因数分解

$$\begin{aligned} x^2 + 5x + 6 &\quad \leftarrow \text{足して5, 掛けて6になる数は?} \\ = x^2 + (2 + 3)x + 2 \cdot 3 &\quad \begin{array}{l} 6 = 1 \times 6 \rightarrow \text{和は } 7(\times) \\ 6 = 2 \times 3 \rightarrow \text{和は } 5(\text{O}) \end{array} \\ = (x + 2)(x + 3) \end{aligned}$$

ii) その元となっている展開計算

$$\begin{aligned} (x + 2)(x + 3) \\ = x^2 + (2 + 3)x + 2 \cdot 3 \\ = x^2 + 5x + 6 \end{aligned}$$

— 1次式の積の公式 (p.20) の逆利用 —

$$3^\circ x^2 + (b + d)x + bd = (x + b)(x + d)$$

【練習 40 : 因数分解の練習】

次の式を因数分解せよ.

(1)  $x^2 + 6x + 9$

(2)  $4x^2 - 12xy + 9y^2$

(3)  $a^2 - 9$

(4)  $4x^2 - 25y^2$

(5)  $x^2 - 6x + 8$

(6)  $a^2 + 3ab - 18b^2$

(7)  $a^4 + 4a^2 + 4$

(8)  $a^4 - 1$

(9)  $x^2 - (a - b)^2$

(10)  $4x^2 - 9(a - b)^2$

(11)  $(a - b)^2 + 10(a - b) + 21$



自分の実行した因数分解が正しいかどうかは, 展開によって確認できる.

## B. 発展 2重根号

$\sqrt{5}$ は「2乗して5になる正の数」を表す。同じように、 $\sqrt{8+2\sqrt{15}}$ は「2乗して $8+2\sqrt{15}$ になる正の数」を表す。このように、根号の中に根号がある状態を**2重根号**(double radical sign)という。

一部の2重根号は外すことができる。たとえば、 $\sqrt{8+2\sqrt{15}} = \sqrt{5} + \sqrt{3}$ である。実際

$$(\sqrt{5} + \sqrt{3})^2 = 5 + 2\sqrt{15} + 3 = 8 + 2\sqrt{15}$$

なので、「2乗して $8+2\sqrt{15}$ になる正の数」は $\sqrt{5} + \sqrt{3}$ であると分かる。

**【例題 41】** 次の中から、 $\sqrt{6+2\sqrt{5}}$ 、 $\sqrt{7+4\sqrt{3}}$ に一致するものをそれぞれ選べ。

a.  $\sqrt{5} + \sqrt{2}$

b.  $2 + \sqrt{3}$

c.  $\sqrt{5} + 1$

d.  $\sqrt{5} + \sqrt{3}$

$a > 0, b > 0$ のとき、 $(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2 = a + b + 2\sqrt{ab}$ であり、 $\sqrt{a} + \sqrt{b} > 0$ であるから

$$\sqrt{a} + \sqrt{b} = \sqrt{a + b + 2\sqrt{ab}}$$

である。よって、 $\sqrt{8+2\sqrt{15}}$ を外すには、足して8、掛けて15になる2数 $a, b$ を探せばよい。

$$\sqrt{8+2\sqrt{15}} = \sqrt{(5+3)+2\sqrt{5 \cdot 3}} = \sqrt{(\sqrt{5} + \sqrt{3})^2} = \sqrt{5} + \sqrt{3}$$

また、 $a > b > 0$ のとき、 $(\sqrt{a} - \sqrt{b})^2 = a + b - 2\sqrt{ab}$ であり、 $\sqrt{a} - \sqrt{b} > 0$ であるから

$$\sqrt{a+b-2\sqrt{ab}} = \sqrt{(\sqrt{a}-\sqrt{b})^2} = \sqrt{a}-\sqrt{b}$$

つまり、2重根号 $\sqrt{x \pm 2\sqrt{y}}$ を外すには、「足して $x$ 、掛けて $y$ となる2つの数」を探せばよい。

**【練習 42 : 2重根号を外す～その1～】**

2重根号 $\sqrt{7+2\sqrt{10}}$ 、 $\sqrt{10+2\sqrt{21}}$ 、 $\sqrt{9-2\sqrt{14}}$ 、 $\sqrt{8-2\sqrt{15}}$ を外せ。

【発展 43 : 2重根号を外す～その2～】

次の2重根号を外せ.

①  $\sqrt{7+4\sqrt{3}}$

②  $\sqrt{3-\sqrt{5}}$

2重根号を外すには、まず  $\sqrt{\quad}$  の中に  $2\sqrt{\quad}$  を作るように考える.

C. 『1次式の積の公式～一般形』(p.20)を逆に利用した因数分解

$3x^2 + 14x + 8$  の因数分解を考えてみよう.

i) 因数分解

$$\begin{aligned} & 3x^2 + 14x + 8 \\ &= (1 \cdot 3)x^2 + (1 \cdot 2 + 4 \cdot 3)x + 2 \cdot 4 \\ &= (x+4)(3x+2) \end{aligned}$$

ii) その元となっている展開計算

$$\begin{aligned} & (x+4)(3x+2) \\ &= (1 \cdot 3)x^2 + (1 \cdot 2 + 4 \cdot 3)x + 2 \cdot 4 \\ &= 3x^2 + 14x + 8 \end{aligned}$$

この  $(x+4)$  と  $(3x+2)$  を見つけるには、次のようなたすきがけと呼ばれる方法を用いる.

たすきがけは、下のように行われる.

上の段 → 1 × 4 → 12 下の段 → 3 × 2 → 2 $\underline{\hspace{1.5cm}}$ 14 ○	$3x^2 + 14x + 8$ $= \underbrace{(x+4)}_{\substack{\text{上の段の} \\ 1, 4}} \underbrace{(3x+2)}_{\substack{\text{下の段の} \\ 3, 2}}$
---	--

$x^2$  の係数3は  $1 \times 3$  しかない

1	×	?	→ ?
3	×	?	→ ?
$\underline{\hspace{1.5cm}}$			
14 にしたい			

定数項の8は、 $1 \times 8$ 、 $2 \times 4$ 、 $4 \times 2$ 、 $8 \times 1$ のどれか  $(-1) \times (-8)$  などは考えなくて良い

$1 \times 1 \rightarrow 3$ $3 \times 8 \rightarrow 8$ $\underline{\hspace{1.5cm}}$ 11 ×	$1 \times 2 \rightarrow 6$ $3 \times 4 \rightarrow 4$ $\underline{\hspace{1.5cm}}$ 10 ×	$1 \times 4 \rightarrow 12$ $3 \times 2 \rightarrow 2$ $\underline{\hspace{1.5cm}}$ 14 ○	$1 \times 8 \rightarrow 24$ $3 \times 1 \rightarrow 1$ $\underline{\hspace{1.5cm}}$ 25 ×
--	--	---	---

初めのうちは試行錯誤が必要だが、慣れてくると2つ目くらいの表でできるようになる。コツをつかむには、係数を「 $1 \times$ 」にするかどうか、奇数・偶数を考える、の2点に注意すると良い。



【例題 44】 次の式を因数分解せよ.

1.  $2x^2 + 3x + 1$

2.  $4x^2 + 5x + 1$

3.  $5a^2 + 7ab + 2b^2$

次に、 $6x^2 + x - 12$  の因数分解を考えてみよう.

$x^2$  の係数は  
 $1 \times 6$  か?

$$\begin{array}{r} 1 \\ \times \\ 6 \end{array} \begin{array}{l} ? \rightarrow ? \\ ? \rightarrow ? \\ \hline 1 \text{ にしたい} \end{array}$$

$x^2$  の係数は  
 $2 \times 3$  か?

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times \\ 3 \end{array} \begin{array}{l} ? \rightarrow ? \\ ? \rightarrow ? \\ \hline 1 \text{ にしたい} \end{array}$$

定数項の  $-12$  は、 $1 \times 12$ 、 $2 \times 6$ 、 $3 \times 4$  のどちらかにマイナス(-)を付けたもの

1 という小さな値にするには、 $1 \times 12$  では適さないと予想できる<sup>\*27</sup>.

$$\begin{array}{r} 1 \\ \times \\ 6 \end{array} \begin{array}{l} 3 \rightarrow 18 \\ -4 \rightarrow -4 \\ \hline 14 \times \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times \\ 3 \end{array} \begin{array}{l} 4 \rightarrow 12 \\ -3 \rightarrow -6 \\ \hline 6 \times \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times \\ 3 \end{array} \begin{array}{l} -3 \rightarrow -9 \\ 4 \rightarrow 8 \\ \hline -1 \times \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times \\ 3 \end{array} \begin{array}{l} 3 \rightarrow 9 \\ -4 \rightarrow -8 \\ \hline 1 \text{ } \circ \end{array}$$

<sup>\*27</sup> 全然ダメ ↑ ↑

符号だけ違う ↑ ↑

一つ左を符号だけ変えた

よって、 $6x^2 + x - 12 = (2x + 3)(3x - 4)$  になる.

【例題 45】 次の式を因数分解せよ.

1.  $12a^2 + 7a - 12$

2.  $4x^2 + 23x - 6$

3.  $8x^2 - 10xy + 3y^2$

1 次式の積の公式 (p.20) の逆利用

$$4^\circ \quad acx^2 + (ad + bc)x + bd = (ax + b)(cx + d)$$

<sup>\*27</sup> 「 $1 \times \circ$ 」を含むたすきがけをした結果は、値が極端に大きく (正の数) なったり小さく (負の数) なったりすることが多い。そのため、 $6x^2 + x - 12$  のように  $x$  の係数が 0 に近い場合は「 $1 \times 6$ 」「 $1 \times 12$ 」を考える優先順位は低い。

【練習 46 : 1 次式の積の公式】

次の式を因数分解しなさい.

(1)  $5x^2 + 11x + 6$

(2)  $6x^2 - x - 15$

(3)  $7x^2 - 16x + 4$

(4)  $9a^2b - 12ab - 12b$

D. 『立方の公式 2』(p.23) を逆に利用した因数分解

$8x^3 + y^3$  には共通因数が無いが、以下のように因数分解できる.

i) 因数分解

$$\begin{aligned} & 8x^3 + y^3 \\ &= (2x)^3 + y^3 \\ &= (2x + y) \{ (2x)^2 - 2x \cdot y + y^2 \} \\ &= (2x + y)(4x^2 - 2xy + y^2) \end{aligned}$$

ii) その元となっている展開計算

$$\begin{aligned} & (2x + y)(4x^2 - 2xy + y^2) \\ &= (2x + y) \{ (2x)^2 - 2x \cdot y + y^2 \} \\ &= (2x)^3 + y^3 \\ &= 8x^3 + y^3 \end{aligned}$$

立方の公式 2 (p.23) の逆利用

$$5^\circ \quad a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2), \quad a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

……  $\bigcirc^3 \pm \triangle^3$  の形の因数分解は重要度が高いが、忘れやすいので気をつけよう. 展開のときと同じように、 $a \pm b$  と  $a^3 \pm b^3$  は符号が一致する、と覚えておくとよい. また、1, 8, 27, 64, 125, 216, 343, 512, 729 を見たら「整数の 3 乗だ」と気づけるようになるとうい.

【例題 47】 次の式を因数分解せよ.

1.  $x^3 + 27$

2.  $8a^3 + 1$

3.  $8x^3 - 27y^3$

4.  $64a^3 - 125b^3$

以下については、非常に特殊なケースなので、式だけを挙げておく。

立方の公式 1 (p.21) の逆利用

$$6^\circ \quad a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3 = (a + b)^3, \quad a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3 = (a - b)^3$$

### E. 因数分解の公式のまとめ

最も大事なことは、「いつ、どの因数分解を使うのか」見極めることである。

#### 【練習 48：因数分解の練習～その 1～】

次の式を因数分解せよ。

(1)  $a^2 - 14ab + 49b^2$       (2)  $2x^2 - x - 3$       (3)  $343a^3 - 8b^3$       (4)  $2ax^2 - 5ax + 3a$

(5)  $3b^2 - 27c^2$       (6)  $3x^3 - 8x^2 - 3x$       (7)  $3x^3 + 81y^3$       (8)  $2a^4 - 32$       (9)  $x^8 - 1$

(10)  $a^6 - b^6$       (11)  $5(x + y)^2 - 8(x + y) - 4$       (12)  $(a + b)^2 + 10c(a + b) + 25c^2$

## 7. 難度の高い因数分解

共通因数も無く、どの公式にも当てはまらない場合も、工夫次第で因数分解ができることがある。

### A. 共通因数が見つけない多項式の因数分解

$ax + ay - x - y$  という式には、共通因数も無く、どの公式にも当てはまらないが、

$$\begin{aligned} & ax + ay - x - y \\ &= a(x + y) - x - y && \leftarrow \text{前2つで } a \text{ が共通するのでまとめてみる} \\ &= a(x + y) - (x + y) && \leftarrow \text{残りもまとめてみたら、} x + y \text{ が共通因数になった} \\ &= (a - 1)(x + y) && \leftarrow -(x + y) = (-1) \times (x + y) \text{ であることに注意！} \end{aligned}$$

のようにして、「共通因数を見つけて」因数分解ができる。もう1つ例を挙げよう。

$$\begin{aligned} & m^2 + 2m - n^2 - 2n && \leftarrow \text{前2つでまとめるとうまくいかない} \\ &= (m^2 - n^2) + 2m - 2n && \leftarrow \text{この2つでまとめてみる} \\ &= (m + n)(m - n) + 2(m - n) && \leftarrow m - n \text{ が共通因数になった} \\ &= (m + n + 2)(m - n) && \leftarrow m - n = X \text{ とおくと } (m + n + 2) X \text{ になる} \end{aligned}$$

数をこなしていくと、共通因数を見つけるのがうまくなる。というのも「どの因数でまとめられるか」少しずつ予想ができるようになるからである。

#### 【練習 49 : 4 項の因数分解】

次の式を因数分解せよ。

(1)  $ab + ac + b + c$

(2)  $mn + 2m - n - 2$

(3)  $a^2 - 5a + 5b - b^2$

因数分解した後、( ) 内を何かの文字について降べきの順にしておくといよい。しなくても間違いではないが、応用問題を解くときに役立つことがある。

## B. 次数の小さい文字に着目する

共通因数が見つからないときは、最も次数の低い文字に着目し、降べきの順に整理しよう。それによって、共通因数が見えてくることが多い\*28。たとえば、次のようになる。

$$\begin{aligned} & a^2 + ab - 3a + b - 4 && \leftarrow a \text{ については2次式, } b \text{ については1次式} \\ = & (a+1)b + a^2 - 3a - 4 && \leftarrow \text{次数の低い } b \text{ について, 降べきの順に整頓} \\ = & (a+1)b + (a-4)(a+1) && \leftarrow \text{定数項を因数分解したら, } a+1 \text{ が共通因数になった} \\ = & (a+1)(a+b-4) && \leftarrow b+a-4 \text{ は順番を入れ替えておこう} \end{aligned}$$

### 【練習 50 : 次数の低い文字に着目する】

次の式を因数分解せよ。

(1)  $a^2 + ab + bc + ca$

(2)  $x^2 - 2xy + 2y - 1$

(3)  $x^2 + 2xy + 3x + 4y + 2$

(4)  $a^3 + ab^2 + b^2 + 1$

\*28 もっとも次数の低い文字でまとめると、最高次の係数に共通因数が出てくることが多いからである。

### C. 複 2 次式の因数分解

$ax^4 + bx^2 + c$  という形の多項式を**複 2 次式** (biquadratic expression) という。ただし、 $a \neq 0$  とする。  
例として、次の 2 つの複 2 次式の因数分解についてみてみよう。

i)  $x^4 - 13x^2 + 36$  の因数分解

この複 2 次式は、 $x^2 = X$  とおくと、 $X^2 - 13X + 36 = (X - 4)(X - 9)$  であるから

$$\begin{aligned}x^4 - 13x^2 + 36 &= (x^2 - 4)(x^2 - 9) \\ &= (x + 2)(x - 2)(x + 3)(x - 3)\end{aligned}$$

ii)  $x^4 + 2x^2 + 9$  の因数分解

この複 2 次式は、 $x^2 = X$  とおいても、 $X^2 + 2X + 9$  となるだけで因数分解が進まない。

そこで、 $x^4$  と 9 に着目すると、うまく因数分解できる。

$$\begin{aligned}x^4 + 2x^2 + 9 &= x^4 + 6x^2 + 9 - 4x^2 && \leftarrow 2x^2 = 6x^2 - 4x^2 \text{ と変形し、平方の形が作れるようする} \\ &= \underbrace{(x^2 + 3)^2}_{\text{平方の形にする}} - (2x)^2 && \leftarrow \bigcirc^2 - \Delta^2 \text{ の形} \\ &= \{(x^2 + 3) + 2x\} \{(x^2 + 3) - 2x\} = (x^2 + 2x + 3)(x^2 - 2x + 3)\end{aligned}$$

#### 複 2 次式の因数分解

複 2 次式  $ax^4 + bx^2 + c$  の因数分解には、次の 2 つの場合がある。

- i)  $x^2 = X$  とおくことにより因数分解できる場合
- ii)  $ax^4$  と  $c$  に着目し、 $bx^2$  の項を変形して因数分解できる場合



i) の方法でうまくいかない場合に、ii) の方法を試すと覚えておくとよい。詳しくは「複 2 次式の因数分解について (p.50)」を参照のこと。

【例題 51】 次の式を因数分解せよ。

1.  $x^4 + 7x^2 - 8$

2.  $x^4 + x^2 + 1$

### D. 2文字2次式の因数分解

降べきにしても共通因数が見つけれない場合でも、2次式の場合は『1次式の積の公式の逆利用』(p.34)を使って因数分解できることがある。

たとえば、 $2x^2 + 5xy + 3y^2 + 2x + 4y - 4$  という式の因数分解について考えてみよう。

まず、これを  $x$  について降べきの順に整理する。

$$2x^2 + (5y + 2)x + 3y^2 + 4y - 4$$

今までのように共通因数を作ることはできない。そこで、 $x$  を含まない項について因数分解する。

$$2x^2 + (5y + 2)x + (3y - 2)(y + 2)$$

『1次式の積の公式の逆利用』(p.34) のときと同じように、たすき掛けをする。

$x^2$  の係数2は  
1×2しかない

$$\begin{array}{r} 1 \times ? \rightarrow ? \\ 2 \times ? \rightarrow ? \end{array}$$

$5y + 2$  にしたい



定数項は  $(3y - 2) \times (y + 2)$  が  $(y + 2) \times (3y - 2)$  のどちらか  
 $\{- (3y - 2)\} \times \{- (y + 2)\}$  などは、 $y$  の係数が合わず不適

$1 \times 3y-2 \rightarrow 6y-4$	$1 \times y+2 \rightarrow 2y+4$
$2 \times y+2 \rightarrow 2y+4$	$2 \times 3y-2 \rightarrow 3y-2$
$8y \quad \times$	$5y+2 \quad \circ$

こうして、 $(2x + 3y - 2)(x + y + 2)$  と因数分解できることが分かる。



上のたすきがけの表を作るコツは、「ひとまず  $y$  の係数だけ考えること」にある。

**【例題 52】** 次の式を因数分解せよ。

1.  $x^2 + 4xy + 3y^2 + x + 5y - 2$

2.  $2x^2 - y^2 - xy + 3x + 3y - 2$

## E. いろいろな因数分解

どの因数分解の手段を用いるかどうかは、だいたい次の優先順位で考えるとよい。方針がわからないときは、ひとまずこの順序で考えてみよう。

- (1) 共通因数を見つける
- (2) 次数の小さい文字に注目し、降べきの順に並べる。
- (3) 公式を使えないか考える

### 【練習 53：因数分解の練習～その 2～】

次の式を因数分解せよ。

(1)  $xy - x - y + 1$

(2)  $a^2 + b^2 + ac - bc - 2ab$

(3)  $a^4 + a^2b^2 + b^4$

(4)  $x^2 - xy - 12y^2 + 5x + y + 6$



【発展 54 : 因数分解の練習～その3～】

次の式を因数分解せよ.

①  $x^2(y-z) + y^2(z-x) + z^2(x-y)$

②  $ab(a-b) + bc(b-c) + ca(c-a)$

③  $a^4 + 64$

④  $6x^2 - 5xy - 6y^2 + 4x + 7y - 2$

⑤  $(x^2 - 2x - 2)(x^2 - 2x - 6) - 12$

## 8. 式の値の計算

### A. $x + y$ , $xy$ , $x - y$ の値を利用する

$(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$  を変形して、等式  $x^2 + y^2 = (x + y)^2 - 2xy$  を得る.

この等式を用いると、 $x$ ,  $y$  が一部の符号しか異ならないときの計算を、簡単にできることがある.

たとえば、 $x = 2 + \sqrt{3}$ ,  $y = 2 - \sqrt{3}$  のとき、 $x + y = 4$ ,  $x - y = 2\sqrt{3}$ ,  $xy = 2^2 - (\sqrt{3})^2 = 1$  である. これを用いて、 $x^2 + y^2$ ,  $x^2y - xy^2$  の値は次のように計算できる.

$$\begin{aligned}x^2 + y^2 &= (x + y)^2 - 2xy & x^3y - xy^3 &= xy(x^2 - y^2) \\ &= 4^2 - 2 \cdot 1 = 14 & &= xy(x + y)(x - y) = 1 \cdot 4 \cdot 2\sqrt{3} = 8\sqrt{3}\end{aligned}$$

#### 【例題 55】

1.  $x = \sqrt{6} + \sqrt{3}$ ,  $y = \sqrt{6} - \sqrt{3}$  のとき、以下の値を計算しなさい.

1)  $x + y$    2)  $xy$    3)  $x - y$    4)  $x^2 + y^2$    5)  $x^4y^2 - x^2y^4$

2.  $x = \frac{\sqrt{7} + \sqrt{3}}{\sqrt{7} - \sqrt{3}}$ ,  $y = \frac{\sqrt{7} - \sqrt{3}}{\sqrt{7} + \sqrt{3}}$  のとき、以下の値を計算しなさい.

1)  $x + y$    2)  $xy$    3)  $x - y$    4)  $x^2 - y^2$    5)  $x^4 + y^4$

$x^3 + y^3$  の計算も、『立方の公式 1(p.21)』『立方の公式 2(p.23)』を使って、計算を簡単にできる。  
 たとえば、 $x = 2 + \sqrt{3}$ ,  $y = 2 - \sqrt{3}$  のとき、 $x + y = 4$ ,  $x - y = 2\sqrt{3}$ ,  $xy = 2^2 - (\sqrt{3})^2 = 1$  である。

(解法 1) 立方の公式 1 を使う

$x^2 + y^2 = (x + y)^2 - 2xy = 14$  であるから

$$\begin{aligned} x^3 + y^3 &= (x + y)(x^2 - xy + y^2) \\ &= 4 \cdot (14 - 1) = 52 \end{aligned}$$

(解法 2) 立方の公式 2 を使う

$(x + y)^3 = x^3 + 3x^2y + 3xy^2 + y^3$  を変形して

$$\begin{aligned} x^3 + y^3 &= (x + y)^3 - 3x^2y - 3xy^2 = (x + y)^3 - 3xy(x + y) \\ &= 4^3 - 3 \cdot 1 \cdot 4 = 52 \end{aligned}$$

これを応用して、 $x^5 + y^5$  の計算も、次のようにできる。

$(x^2 + y^2)(x^3 + y^3) = x^5 + x^2y^3 + x^3y^2 + y^5$  を変形して

$$\begin{aligned} x^5 + y^5 &= (x^2 + y^2)(x^3 + y^3) - x^2y^3 - x^3y^2 \\ &= (x^2 + y^2)(x^3 + y^3) - x^2y^2(x + y) \\ &= 14 \cdot 52 - 1^2 \cdot 4 = 734 \end{aligned}$$

**【練習 56 : 3 次式の公式と式の値】**

$x = \sqrt{7} + \sqrt{2}$ ,  $y = \sqrt{7} - \sqrt{2}$  のとき、以下の値を計算しなさい。

(1)  $x^2 + y^2$

(2)  $x^3 - y^3$

(3)  $x^4 + y^4$

(4)  $x^5 - y^5$

## B. ⑤⑧ 因数分解と式の値

因数分解には、式の因数を見えるようにする長所があった。この長所を生かせば、文字の値を整数や自然数に限った次のような問題を解くことができる。

### 【⑤⑧ 57 : 因数分解と式の値】

- ① 多項式  $F = ab - 3a + 2b - 6$  について、次の問いに答えなさい。
  - i.  $F$  を因数分解しなさい。
  - ii.  $F = 6$  を満たす自然数  $(a, b)$  の組をすべて求めなさい。
- ②  $mn + 2m - n = 3$  を満たす整数  $(m, n)$  の組をすべて求めなさい。

1. 開平法について

A. 開平法の手順

例として、 $\sqrt{823.69}$  の値を開平法で計算する。

(1) 823.69 を根号の中に書き、「小数点を基準」にして「2桁ずつ」区切っていく。また、横にスペースをとっておく。

(2) 一番左の数は8。2乗して8を超えない最大の数2を、右図のように3ヶ所を書く。

(3)  $(2 \times 2 =) 2^2 = 4$  を8の下に書き、8から4を引く。そして、23を下に下ろす。

また、その横で  $2 + 2 = 4$  を計算する。

(4) 「4□」に「□」を掛けて「423」を超えない、最大の1桁の整数□を求める。

$$48 \times 8 = 384 \leq 423 < 49 \times 9 = 441$$

であるので、□は8。これを3ヶ所書き込む。

(5)  $48 \times 8$  の結果384を423の下に書き、423から引く。そして、69を下に下ろす。さらに、小数点を打つ。

また、 $48 + 8$  を横で計算しておく。

(6) 「56□」に「□」を掛けて「3969」を超えない、最大の1桁の整数□を求める。

$$567 \times 7 = 3969 \leq 3969 < 568 \times 8$$

より□は7であり、 $3969 - 567 \times 7 = 0$  なので計算は完了。

$$\sqrt{823.69} = 28.7 \text{ とわかる。}$$

(いつまでも0が現れないときは、計算を繰り返すことでより精密な近似値を求めることができる。)

$$(1) \sqrt{8 \mid 23 \mid 69}$$

$$(2) \begin{array}{r} 2 \\ \sqrt{8 \mid 23 \mid 69} \\ \hline 4 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2 \\ 2 \end{array}$$

$$(3) \begin{array}{r} 2 \\ \sqrt{8 \mid 23 \mid 69} \\ 2 \times 2 \rightarrow \underline{4} \\ \hline 4 \ 23 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2 \\ \underline{2} \\ 4 \leftarrow 2 + 2 \end{array}$$

$$(4) \begin{array}{r} 2 \ 8 \\ \sqrt{8 \mid 23 \mid 69} \\ \underline{4} \\ \hline 4 \ 23 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2 \\ \underline{2} \\ 48 \\ \hline 8 \end{array}$$

$$(5) \begin{array}{r} 2 \ 8 \ . \\ \sqrt{8 \mid 23 \mid 69} \\ \underline{4} \\ \hline 4 \ 23 \\ 48 \times 8 \rightarrow \underline{384} \\ \hline 39 \ 69 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2 \\ \underline{2} \\ 48 \\ \underline{8} \\ 56 \leftarrow 48 + 8 \end{array}$$

$$(6) \begin{array}{r} 2 \ 8 \ 7 \\ \sqrt{8 \mid 23 \mid 69} \\ \underline{4} \\ \hline 4 \ 23 \\ \underline{384} \\ \hline 39 \ 69 \\ 567 \times 7 \rightarrow \underline{3969} \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2 \\ \underline{2} \\ 48 \\ \underline{8} \\ 567 \\ \hline 7 \end{array}$$

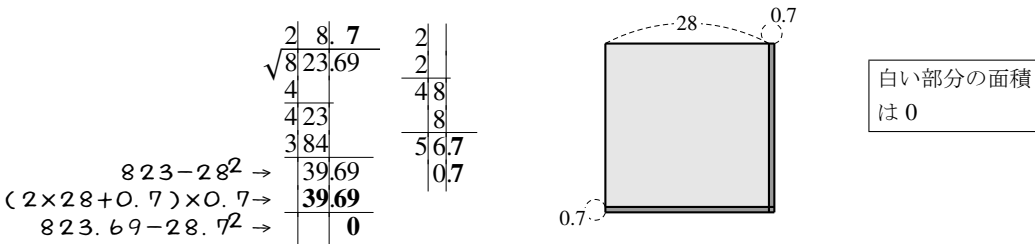
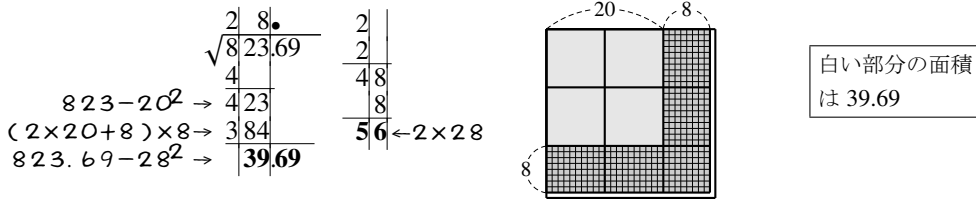
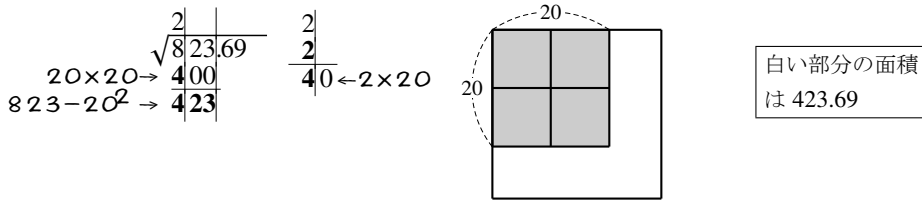
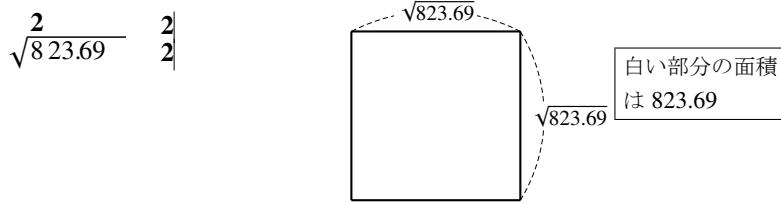
## B. 開平法とは

「開平」とは「ある数の平方根を求めること」であり、「開平法 (extraction of square root)」とは、その「開平」を筆算のような計算で求める方法である。いずれも和算<sup>\*29</sup>の時代から使われた用語であり、開平法は古くからそろばんによって用いられていた。

開平法の計算は、化学や物理において必要とされることがある。

## C. 開平法の仕組み

なぜ、前ページの開平法によって平方根が求められるのか、その仕組みを下に図で示しておく(途中の計算式の中に、実際の計算のときには必要のない数字があるので注意すること)。余裕のある人は、各自で考えてみよう。



<sup>\*29</sup> 吉田光由著「塵劫記(1627)」などが大きなきっかけとなって発達した、江戸時代の開国以前における日本の数学の総称。関孝和(1640?~1708)、建部賢弘(1664~1739)などの傑出した人物が現れた。和算においては、微分積分学を初めとする関数の概念こそ大きな流れを作らなかったものの、方程式論、数値計算などの分野においては同時代のヨーロッパの数学を先んじることもあった。

また、和算が庶民にも広く流行していた点は、数学の歴史において特筆すべき事柄である。開国以後の日本が、ヨーロッパの数学を吸収して初等教育に導入するまであまり時間がかからなかった要因には、和算の影響がたいへん大きかったと考えられている。

【練習 58：開平法】

$\sqrt{153664}$ ,  $\sqrt{1.1236}$ ,  $\sqrt{13}$ ,  $\sqrt{9.8}$  の値を開平法によって計算せよ(無限に続く場合は, 四捨五入によって上から 3 桁まで計算せよ).



電卓で値を確かめながら, いろいろな値で練習しよう.

## 2. 複2次式の因数分解について

簡単のため、複2次式  $ax^4 + bx^2 + c$  を  $a\left(x^4 + \frac{b}{a}x^2 + \frac{c}{a}\right)$  と変形し、 $\frac{b}{a} = A$ ,  $\frac{c}{a} = B$  とおいた

$$x^4 + Ax^2 + B \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

という複2次式の因数分解について考える<sup>\*30</sup>。

i)  $x^2 = X$  とおく方法で因数分解できる条件

$$x^4 + Ax^2 + B = X^2 + AX + B \qquad \leftarrow x^2 = X \text{ とおいた}$$

$$= \left(X + \frac{A}{2}\right)^2 - \frac{A^2}{4} + B = \left(X + \frac{A}{2}\right)^2 - \frac{A^2 - 4B}{4}$$

より、 $A^2 - 4B \geq 0$  ならば  $\bigcirc^2 - \Delta^2$  タイプの因数分解が可能となる。

ii)  $x^4$  と  $B$  に着目する方法で因数分解できる条件

$$x^4 + Ax^2 + B = x^4 + B + Ax^2$$

ここで、 $B > 0$  ならば

$$\begin{aligned} &= (x^2 + \sqrt{B})^2 - 2\sqrt{B}x^2 + Ax^2 \\ &= (x^2 + \sqrt{B})^2 - (2\sqrt{B} - A)x^2 \end{aligned}$$

また、 $2\sqrt{B} - A > 0$  となるのは

$$\begin{aligned} &2\sqrt{B} > A \\ \Leftrightarrow &\begin{cases} (A < 0) \\ \text{または} \\ (A \geq 0 \text{ かつ } 4B > A^2) \end{cases} \\ \Leftrightarrow &\begin{cases} (A < 0 \text{ かつ } (A^2 - 4B \geq 0 \text{ または } A^2 - 4B < 0)) \\ \text{または} \\ (A \geq 0 \text{ かつ } A^2 - 4B < 0) \end{cases} \end{aligned}$$

のときであるから、条件を整理すると

$$\begin{cases} (B > 0 \text{ かつ } A < 0 \text{ かつ } (A^2 - 4B \geq 0 \text{ または } A^2 - 4B < 0)) \\ \text{または} \\ (B > 0 \text{ かつ } A \geq 0 \text{ かつ } A^2 - 4B < 0) \end{cases}$$

のときである。

以上 i), ii) を因数分解の手法として覚えやすくまとめると次のようになる。

$A^2 - 4B \geq 0$  のときは、 $x^2 = X$  とおくことにより因数分解でき、 $A^2 - 4B < 0$  のときは  $x^4$  と  $B$  に着目して変形することにより因数分解できる。特に、 $A^2 - 4B \geq 0$  かつ  $A < 0$  かつ  $B \geq 0$  のときには、どちらの方法でも因数分解できる。

<sup>\*30</sup> この複2次式 $\textcircled{1}$ が因数分解できれば、その式全体に  $a$  を掛けて、もとの複2次式  $ax^4 + bx^2 + c$  の因数分解が得られる。



## 第2章 方程式・不等式と関数



第2章では、方程式・不等式と関数（のグラフ）の関係について学ぶ。

はじめに1次不等式・2次方程式を学ぶが、後にこれらは、1次関数・2次関数のグラフと密接な関係があることが分かる。この関係をつかむことは、高校数学の最も大事なポイントの1つになっている。

最終的に、2次不等式を解くときには、簡単な計算問題であっても、2次関数を用いて解くことになる。

方程式・不等式からグラフへ、グラフから方程式・不等式へ。自由に行き来するまでに時間がかかるかもしれないが、じっくり考えて理解しよう。

## 2.1 1次不等式

2つの数が等しいことは等号(=)を使った等式で表されるように、2つの数の間の大小は、不等号(> や  $\leq$  など)を使って表される。

### 1. 不等式の性質

#### A. 不等号とその読み方

2つの数の大小関係は、**不等号** (a sign of inequality) を用いて表される。たとえば、「2より3の方が大きい」ことは  $2 < 3$  と表される。

	読み方*1	意味
$a < b$	$a$ は $b$ より小さい ( $a$ は $b$ 未満である)	
$a \leq b$	$a$ は $b$ 以下である	$a < b$ または $a = b$
$a > b$	$a$ は $b$ より大きい	
$a \geq b$	$a$ は $b$ 以上である	$a > b$ または $a = b$

「 $\sim$ 以 $\circ$ 」は等号ありの不等号、「 $\sim$ より $\circ\circ\circ$ 」「 $\sim$ 未満」は等号なしの不等号と理解できる。

#### B. 不等式とは何か

たとえば「ある数  $a$  を2倍してから3を加えた数は、4より大きい」ことは

$$2a + 3 > 4 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

と不等号を用いて表すことができる。①のように、2つの式の大小関係を不等号を使って表したものを**不等式** (inequality) という。

等式の場合と同じように、不等号の左側にある式を**左辺** (left side)、右側にある式を**右辺** (right side)、左辺と右辺をあわせて**両辺** (both sides) という。①の左辺は  $2a + 3$ 、右辺は4である。

**【例題1】** 次の文章を不等式で表せ。また、その左辺、右辺を答えよ。

1. 「 $a$  と3の和は、 $b$  の2倍以上」
2. 「 $x$  の2倍から3引いた数は、 $x$  の(-2)倍より小さい」

\*1 次のような読み方もよく用いられる。

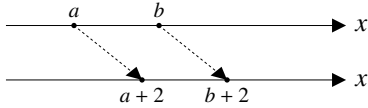
$a < b$  : 「 $a$  小なり  $b$ 」,  $a \leq b$  : 「 $a$  小なりイコール  $b$ 」,  $a > b$  : 「 $a$  大なり  $b$ 」,  $a \geq b$  : 「 $a$  大なりイコール  $b$ 」

### C. 不等式の性質

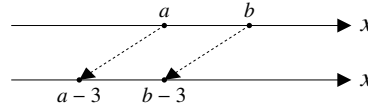
数直線上の点の移動をイメージしながら、不等式の性質を考えよう。

i) 両辺に同じ数を足す(引く)場合 ⇒不等号の向きは変わらない(“<”は“<”のまま)

$a < b$  のとき,  $a + 2 < b + 2$  である.

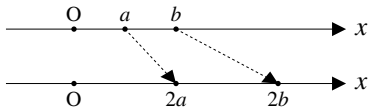


$a < b$  のとき,  $a - 3 < b - 3$  である.

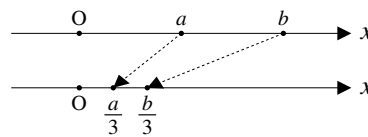


ii) 両辺に正の数(掛ける)の場合 ⇒不等号の向きは変わらない(“<”は“<”のまま)

$a < b$  のとき,  $2a < 2b$  である.

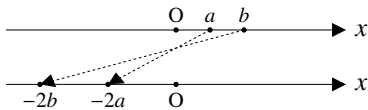


$a < b$  のとき,  $\frac{a}{3} < \frac{b}{3}$  である.

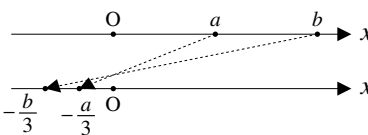


iii) 両辺に負の数(掛ける)の場合 ⇒不等号の向きが反対になる(“<”は“>”に変わる)

$a < b$  のとき,  $-2a > -2b$  である.



$a < b$  のとき,  $-\frac{a}{3} > -\frac{b}{3}$  である.



#### 【例題 2】

1.  $a > b$  のとき, 次の  に入る不等号を書け.

i.  $a + 4$    $b + 4$

ii.  $a - 2$    $b - 2$

iii.  $a - 3$    $b - 3$

iv.  $3a$    $3b$

v.  $2a$    $2b$

vi.  $-3a$    $-3b$

vii.  $4a$    $4b$

viii.  $-a$    $-b$

2. i. ~v. のそれぞれについて,  $a > b$ ,  $a < b$ ,  $a \geq b$ ,  $a \leq b$  のいずれが成り立つか答えよ.

i.  $5a < 5b$

ii.  $-2a < -2b$

iii.  $a - 4 < b - 4$

iv.  $\frac{a}{4} \leq \frac{b}{4}$

v.  $-\frac{a}{4} \leq -\frac{b}{4}$

#### 不等式の性質

i) すべての実数  $c$  で  $a < b \Leftrightarrow a + c < b + c$  ,  $a - c < b - c$

ii)  $0 < c$  のとき  $a < b \Leftrightarrow ac < bc$  ,  $\frac{a}{c} < \frac{b}{c}$

iii)  $c < 0$  のとき  $a < b \Leftrightarrow ac > bc$  ,  $\frac{a}{c} > \frac{b}{c}$  ←逆符号!



これらの性質により, p.55 で学のように, 不等式も方程式と同じようにして解くことができる.

【練習3：不等式の性質】

以下の□にあてはまる適当な数字を答えよ。

(1)  $x + 3 < 5$

$\Leftrightarrow x + 3 - 3 < 5 - \text{ア}$

$\Leftrightarrow x < \text{イ}$

(2)  $2x < 8$

$\Leftrightarrow 2x \times \frac{1}{2} < 8 \times \text{ウ}$

$\Leftrightarrow x < \text{エ}$

(3)  $-3x \geq 15$

$\Leftrightarrow -3x \times \left(-\frac{1}{3}\right) \leq 15 \times \text{オ}$

$\Leftrightarrow x \leq \text{カ}$

## 2. 1次不等式とその解法

### A. 1次不等式とは何か

左辺、右辺とも ( $x$  について) 次数が1次以下である不等式を、( $x$  についての) **1次不等式** (linear inequality) という。たとえば、次の式はすべて1次不等式である。

$$2x + 3 > 5x - 3, \quad -x - 5 \geq 2x + 4, \quad 2x - 3 < 7$$

( $x$  についての) 不等式の**解** (solution) とは、不等式を満たす  $x$  の値のことをいう。たとえば、いろいろな  $x$  において、不等式

$$2x + 3 > 5x - 3 \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

を満たすかどうか調べてみよう。 $x = -2$  の時を調べると

$$\text{(左辺)} = 2 \times (-2) + 3 = -1$$

$$\text{(右辺)} = 5 \times (-2) - 3 = -13$$

となり、左辺の方が大きい。つまり、 $x = -2$  は解である。

このことを繰り返せば、右上の表を作る事ができ、①の解は無数にあることが分かる。

$x$	左辺	右辺	
-2	-1	-13	○
-1	1	-8	○
0	3	-3	○
1	5	2	○
2	7	7	×
3	9	12	×
4	11	17	×

【例題4】 不等式  $2x - 1 < x + 2$  について、次の問いに答えよ。

- $x = -2$  のとき、左辺の値、右辺の値をそれぞれ求めよ。また、 $x = -2$  は解になるか。
- $x = 3$  のとき、左辺の値、右辺の値をそれぞれ求めよ。また、 $x = 3$  は解になるか。
- $x = 4$  のとき、左辺の値、右辺の値をそれぞれ求めよ。また、 $x = 4$  は解になるか。

## B. 不等式の解法と解の図示

不等式を解く (solve) とは「不等式のすべての解を求めること」を意味する。

p.53 で学んだ性質から、不等式も、方程式と同じように<sup>いこう</sup>移項 (transposition) を用いて解くことができる。たとえば、不等式①は次のように解くことができる。

	$2x + 3 > 5x - 3$	
⇔	$2x - 5x > -3 - 3$	← 移項した
⇔	$-3x > -6$	
⇔	$x < 2$	← -3 で割った (符号の向きが逆になる!!)

こうして、「 $x$  は 2 より小さければ解になる」ことが求められる。このことは、数直線を用いて右図のように表すことができる。



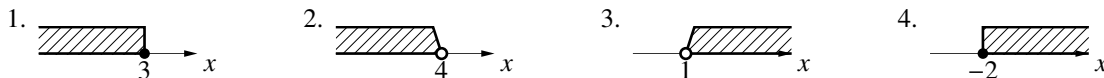
一般に、不等式の解は以下のように図示する。

$-3 < x$	$-3 \leq x$	$x < -3$	$x \leq -3$
含まない 	含む 	含まない 	含む 

不等号  $<$ ,  $>$  のときは、境目を「白丸」「斜め線」で表す。

一方、不等号  $\leq$ ,  $\geq$  のときは、境目を「黒丸」「垂直線」で表す。

**【例題 5】** それぞれの図が表す、不等式の解を答えなさい。



解の図示は、次で学ぶ「連立不等式」においてきわめて重要になる。

**【例題 6】** 次の 1 次不等式を解け。また、その解を数直線上に表せ。

1.  $x - 8 < 5$

2.  $4x - 8 > 2x$

3.  $5 - 3x \leq 7 - 10x$

【練習 7 : 1 次不等式】

次の 1 次不等式を解け. また, その解を数直線上に表せ.

(1)  $-8x \leq 32$

(2)  $2(x - 2) > 3(4 - x) + 4$

(3)  $3 - \frac{5x - 1}{3} > 2x + 1$

【練習 8 : 不等式の解】

(1) 不等式  $2x - 3 < 7$  において,  $x = -3$  は解になるか,  $x = 5$  は解になるか.

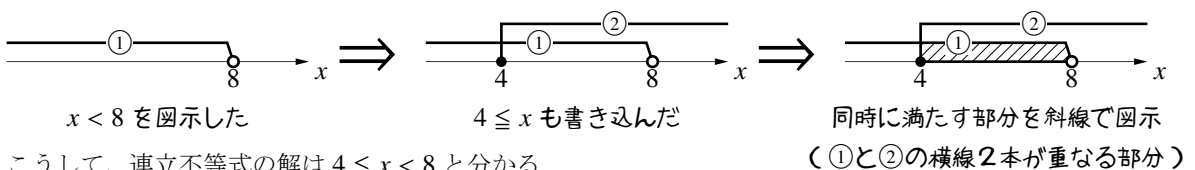
(2) 不等式  $-x - 5 \geq 2x + 4$  において,  $x = -3$  は解になるか,  $x = 5$  は解になるか.

C. 連立不等式

**連立不等式** (simultaneous inequalities) とは, 2 つ以上の満たすべき不等式の集まりを指す. 連立不等式を解くとは, 全ての不等式を同時に満たす  $x$  の範囲を求めることである.

たとえば, 連立不等式  $\begin{cases} x - 3 < 5 & \dots\dots\dots \textcircled{1} \\ 3x + 1 \leq 4x - 3 & \dots\dots\dots \textcircled{2} \end{cases}$  を解こう.

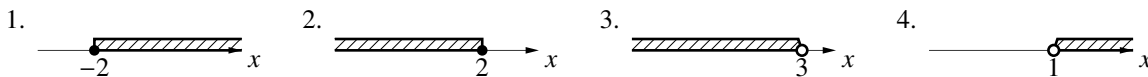
①の解は  $x < 8$  であり, ②の解は  $4 \leq x$  になる. これらをまとめて図示しよう.



こうして, 連立不等式の解は  $4 \leq x < 8$  と分かる.

2つの不等式を同時に満たす範囲がない場合は「解なし」と答える。

**【例題 9】** 以下の図に  $x < 0$  を書き込み、同時に満たす  $x$  の範囲を答えなさい。同時に満たす  $x$  の範囲がなければ、「解なし」と答えなさい。



**【例題 10】** 連立不等式  $\begin{cases} 4x - 3 < 2x - 5 & \dots\dots\dots \textcircled{1} \\ 3x + 1 \geq 2x - 3 & \dots\dots\dots \textcircled{2} \end{cases}$  を解け。

連立不等式を解くときには必ず、解を数直線の上に書き表すこと。

#### D. 3つ以上の式による不等式

たとえば、 $x$  が不等式  $-2x + 6 < x < 4x - 3 \dots\dots\dots \textcircled{3}$  を満たすには、 $-2x + 6 < x$  と  $x < 4x - 3$  を同時に満たせばよい。つまり、 $\textcircled{3}$  を解くには連立不等式  $\begin{cases} -2x + 6 < x \\ x < 4x - 3 \end{cases}$  を解けばよい。

**【例題 11】** 不等式  $-2x + 6 < x < 4x - 3$  を解け。

**【練習 12 : 連立不等式】**

次の連立不等式を解け.

$$(1) \begin{cases} \frac{11}{4}x - \frac{3}{2} > 2x - 5 \\ \frac{2}{3}x + \frac{1}{6} \leq -\frac{1}{2}x - \frac{3}{2} \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} 0.25x - 0.18 \geq 0.6 - 0.14x \\ \frac{2}{3}x + \frac{1}{6} \leq -\frac{1}{2}x - \frac{3}{2} \end{cases}$$



E. 発展 1次不等式の応用

【練習 13 : 1次不等式の応用】

- (1) A 地点から 15 km 離れた B 地点まで歩いた。はじめは急ぎ足で毎時 5 km, 途中から疲れたので毎時 3 km の速さで歩いた。所要時間が 4 時間以内のとき, 急ぎ足で何 km 以上歩いたか求めよ。
- (2) 5% の食塩水 800 g と 8% の食塩水を何 g か混ぜて, 6% 以上の食塩水を作りたい。8% の食塩水を何 g 以上混ぜればよいか求めよ。

## F. 取り得る範囲を求める

### 【練習 14 : 取り得る範囲～その 1～】

実数  $x$  が  $-2 < x < 4$  であるとき、以下の値の取り得る範囲を答えよ.

- (1)  $x + 3$                       (2)  $x - 2$                       (3)  $2x$                       (4)  $2x - 5$                       (5)  $-2x$

### 【発展 15 : 取り得る範囲～その 2～】

実数  $a$  は小数第 1 位を四捨五入して 4 になり、実数  $b$  は小数第 1 位を四捨五入して 6 になるという.

- ①  $a, b$  の取り得る範囲を不等式で答えよ.
- ②  $3a + b$  の取り得る範囲を不等式で答えよ.
- ③  $a - b$  の取り得る範囲を不等式で答えよ.



## 2.2 2次方程式の基礎



ここでは、2次方程式の解法の基礎を学ぶ。

### A. 2次方程式とは

( $x$  についての) 2次方程式 (quadratic equation) とは、 $a (\neq 0)$ ,  $b$ ,  $c$  を定数として

$$ax^2 + bx + c = 0$$

という形で表せる方程式のことである。与えられた2次方程式を満たす  $x$  の値をすべて求めることを「2次方程式を解く」といい、その  $x$  の値をその「2次方程式の解」とよぶ。

### B. 因数分解を利用した解法

2次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の左辺が因数分解できる場合には、中学までで学んだように、因数分解を用いて解くのが一番よい。たとえば、 $2x^2 - x - 3 = 0$  を解くと、次のようになる。

$$2x^2 - x - 3 = 0 \Leftrightarrow (2x - 3)(x + 1) = 0$$

$$\Leftrightarrow {}^*2x - 3 = 0 \quad \text{または} \quad x + 1 = 0 \quad \therefore x = \frac{3}{2}, -1 {}^*3$$

【例題 16】 2次方程式  $3x^2 + 2x - 8 = 0$  の左辺は因数分解できて

$$(x + \boxed{\text{ア}})(\boxed{\text{イ}}x - \boxed{\text{ウ}}) = 0$$

と変形できる。ここから  $\boxed{\text{エ}} = 0$  または  $\boxed{\text{オ}} = 0$  が成り立つ。

この2つの1次方程式をそれぞれ解いて  $x = \boxed{\text{カ}}$ ,  $x = \boxed{\text{キ}}$ 。

<sup>\*2</sup> ここで用いられる性質は、実数  $A$ ,  $B$  についての積の性質

$$AB = 0 \iff A = 0 \text{ または } B = 0 \iff A = 0 \text{ か } B = 0 \text{ の一方でも成り立てばよい (両方でもよい)}$$

である。通常の会話における「または」の意味は、「どちらかが正しく、残りは間違い」の意味であることが多い。しかし、数学における「または」は「少なくともどちらかが正しい (両方とも正しい場合を含む)」の意味で使われる。「または」の扱いについては、数学 A(p.2) において詳しく学ぶ。

<sup>\*3</sup> 2つの解の間にあるカンマ「,」は、「または」の代わりに使われている。

【練習 17 : 2 次方程式を解く (因数分解の利用)】

次の 2 次方程式を解け.

(1)  $x^2 - 2x - 15 = 0$

(2)  $x^2 - 8x + 16 = 0$

(3)  $12x^2 - 17x + 6 = 0$

(4)  $3x^2 + 2x - 3 = -2x + 1$

(5)  $\frac{1}{9}x^2 + x + 2 = 0$

C.  $(x \text{ の式})^2 = (\text{定数})$  の形にする解法

2 次方程式  $x^2 + 4x - 3 = 0$  は, 左辺を因数分解できないが, 次のように解くことができる.

$$x^2 + 4x = 3$$

←定数項を右辺に移項

$$x^2 + 4x + 4 = 3 + 4$$

←両辺に 4 を足すと

$$(x + 2)^2 = 7$$

←左辺を 2 乗の形にできる

$$x + 2 = \pm\sqrt{7}$$

←つまり,  $x + 2 = \sqrt{7}$  または  $x + 2 = -\sqrt{7}$

$$x = -2 \pm \sqrt{7}$$

←つまり,  $x = -2 + \sqrt{7}$  または  $x = -2 - \sqrt{7}$

【例題 18】 上と同じようにして  $x^2 + 6x - 13 = 0$  を解こう.  には

$$x^2 + 6x = \text{ア}$$

←定数項を右辺に移項

$$x^2 + 6x + \text{イ} = \text{ア} + \text{イ}$$

←両辺に  を足す

$$(x + \text{ウ})^2 = \text{エ}$$

←左辺が 2 乗の形になった

$$x + \text{ウ} = \pm\sqrt{\text{エ}}$$

$$x = \text{オ} \pm \sqrt{\text{エ}}$$

これは,  $x$  の解が ,  の 2 つあることを意味している.

## D. 2次方程式の解の公式

$x^2$  の係数が 1 でなくても、次のようにして  $(x \text{ の式})^2 = (\text{定数})$  の形にして解くことができる。

具体的な 2 次方程式

$$3x^2 + 2x - 8 = 0$$

$$3x^2 + 2x = 8$$

$$x^2 + \frac{2}{3}x = \frac{8}{3}$$

$$x^2 + \frac{2}{3}x + \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \frac{8}{3} + \left(\frac{1}{3}\right)^2$$

$$\left(x + \frac{1}{3}\right)^2 = \frac{25}{9}$$

$$x + \frac{1}{3} = \pm \sqrt{\frac{25}{9}} = \pm \frac{5}{3}$$

$$x = -\frac{1}{3} + \frac{5}{3}, -\frac{1}{3} - \frac{5}{3}$$

$$x = \frac{4}{3}, -2$$

一般の 2 次方程式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$ax^2 + bx = -c$$

$$x^2 + \frac{b}{a}x = -\frac{c}{a}$$

$$x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 = -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2$$

$$\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2}$$

$$x + \frac{b}{2a} = \pm \sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2}} = \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots\dots \textcircled{1}$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\left(\text{つまり, } x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)$$

← 定数項を移項 →  
 ←  $x^2$  の係数を 1 にする →  
 ←  $x$  の係数の半分の 2 乗を両辺に足す →  
 ←  $(x + \bigcirc)^2$  を作る →  
 ← 平方根を求める (ただし,  $b^2 - 4ac$  の値は 0 以上とする) →

←  $x$  について解く →

①より下の変形は、右辺にある「 $b^2 - 4ac$ 」の値が 0 以上でないといけな

### 2 次方程式の解の公式

2 次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解は  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$  となる。この式を 2 次方程式の解の公式 (formula of solution) という。ただし、この解は  $b^2 - 4ac \geq 0$  のときに限る。  
 $b^2 - 4ac < 0$  のときは  $\sqrt{b^2 - 4ac}$  が意味をもたず、2 次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解は存在しない。

#### 【例題 19】

1. 2 次方程式  $2x^2 + 3x - 4 = 0$  を解こう。解の公式に  $a = \boxed{\text{ア}}$ ,  $b = \boxed{\text{イ}}$ ,  $c = \boxed{\text{ウ}}$  を代入して、

$$x = \frac{\boxed{\text{エ}} \pm \sqrt{\boxed{\text{オ}}}}{\boxed{\text{カ}}} \text{ となり、これが解である。}$$

2. 2 次方程式  $x^2 - 4x + 2 = 0$  を解こう。解の公式に  $a = \boxed{\text{キ}}$ ,  $b = \boxed{\text{ク}}$ ,  $c = \boxed{\text{ケ}}$  を代入して、

$$x = \frac{\boxed{\text{コ}} \pm \boxed{\text{サ}} \sqrt{\boxed{\text{シ}}}}{\boxed{\text{ス}}} \text{ となる。これを約分して、解 } x = \boxed{\text{セ}} \text{ を得る。}$$

【練習 20 : 2 次方程式を解く (解の公式の利用)】

次の 2 次方程式を解け.

(1)  $x^2 + 7x + 2 = 0$

(2)  $x^2 + 8x - 3 = 0$

(3)  $x^2 - x - 3 = 0$

(4)  $x^2 - 4x + 5 = 0$

(5)  $4x^2 + 6x + 1 = 0$

(6)  $\frac{1}{6}x^2 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{3} = 0$



解の公式は暗記して, 正確に使いこなせるようにしましょう.

また,  $\sqrt{\quad}$  の中が負になったとき ( $b^2 - 4ac < 0$  のとき) は, 「解なし」と答えればよい.

**E. 2 次方程式の解と因数分解**

2 次方程式の 2 つの解法を見比べてみよう.

i) 因数分解を利用した解法

$$x^2 - 3x - 18 = 0$$

$$(x - 6)(x + 3) = 0 \quad \leftarrow \text{左辺の因数分解}$$

$$x = 6, -3 \quad \leftarrow \text{方程式の解}$$

ii) 解の公式を用いた解法

$$x^2 - 5x - 3 = 0$$

???

$$x = \frac{5 \pm \sqrt{37}}{2} \quad \leftarrow \text{「解の公式」で求めた}$$

i), ii) を見比べて,  $x^2 - 5x - 3$  の因数分解を得る.

$$x^2 - 3x - 18 = (x - \underbrace{6}_{\text{解の1つ}})(x - \underbrace{(-3)}_{\text{もう1つの解}}) \quad x^2 - 5x - 3 = \left(x - \underbrace{\frac{5 + \sqrt{37}}{2}}_{\text{解の1つ}}\right) \left(x - \underbrace{\frac{5 - \sqrt{37}}{2}}_{\text{もう1つの解}}\right)$$



実際,  $\left(x - \frac{5 + \sqrt{37}}{2}\right) \left(x - \frac{5 - \sqrt{37}}{2}\right)$  を展開すれば, この因数分解が正しいと分かる.

【例題 21】  $x^2 - 3x + 1$  を実数の範囲で因数分解しなさい (因数には無理数が含まれてもよい).

## F. 2 次方程式の解の個数～判別式 $D$

解の公式の根号  $\sqrt{\quad}$  内の  $b^2 - 4ac$  を, 2 次方程式の判別式 (discriminant) といい,  $D$  で表す.

### 2 次方程式の判別式と解の個数

2 次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解の個数を調べるには判別式  $D = b^2 - 4ac$  の符号を調べればよい.

i)  $D = b^2 - 4ac > 0$  のとき, 解は 2 つ存在する.

ii)  $D = b^2 - 4ac = 0$  のとき, 解は 1 つ存在する.

このただ 1 つの解は重解 (multiple solution) とよばれる.

iii)  $D = b^2 - 4ac < 0$  のとき, 解は存在しない.

☞  $D = 0$  のとき, 2 次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解は  $x = \frac{-b + \sqrt{0}}{2a}$ ,  $\frac{-b - \sqrt{0}}{2a}$  であり, どちらも  $x = -\frac{b}{2a}$  に等しくなり, 解が重なってしまう. これが, 重解の語源である\*4.

【例題 22】 2 次方程式  $x^2 - (k-1)x + \frac{1}{4}k^2 + k + 1 = 0$  について, 以下の問いに答えよ.

1.  $k = 2$  のとき, 解はいくつあるか.

2.  $k = -4$  のとき, 解はいくつあるか.

3. 判別式  $D$  を  $k$  の式で表せ.

4. 解が 2 個存在するための  $k$  の範囲を求めよ.

\*4 厳密な数学の定義によれば, 本来は重根 (multiple root) とよぶべきである. しかし, 高校数学においては「重解」という言葉が慣用的に用いられている. 13th-note 数学 I も現状に従うこととする.

【練習 23 : 2 次方程式の解と因数分解】

以下の 2 次式を, 実数の範囲で因数分解せよ.

(1)  $x^2 + 7x - 4$

(2)  $x^2 - 2x - 5$

(3)  $2x^2 - 4x + 1$

【練習 24 : 2 次方程式の解の個数の判別】

2 次方程式  $x^2 + (2a - 1)x + a^2 - 2a + 4 = 0$  について, 以下の問いに答えよ.

(1) 判別式  $D$  を  $a$  の式で表せ.

(2) 解が存在しないための  $a$  の条件を求めよ.



### G. $x$ の係数が偶数の場合

2 次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  において  $b$  が偶数の場合を考えよう.  $b = 2b'$  とおいて,  $ax^2 + 2b'x + c = 0$  に解の公式を用いると, 次のようになる.

具体的な 2 次方程式

$$x^2 + 8x + 3 = 0$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{-8 \pm \sqrt{8^2 - 4 \cdot 1 \cdot 3}}{2} \\ &= \frac{-8 \pm \sqrt{64 - 12}}{2} \\ &= \frac{-8 \pm 2\sqrt{13}}{2} \\ &= -4 \pm \sqrt{13} \quad \leftarrow 2 \text{ で約分} \end{aligned}$$

一般の 2 次方程式

$$ax^2 + 2b'x + c = 0$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{-2b' \pm \sqrt{(2b')^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-2b' \pm \sqrt{4b'^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-2b' \pm 2\sqrt{b'^2 - ac}}{2a} \\ &= \frac{-b' \pm \sqrt{b'^2 - ac}}{a} \quad \leftarrow 2 \text{ で約分} \end{aligned}$$

こうして, 必ず計算の最後に 2 で約分する必要があるとわかる. そのため,  $b$  が偶数の場合には, 解の公式を別に用意して, この手間をはじめから回避することができる.

$x$  の係数が偶数の場合の解の公式・判別式

$D \geq 0$  のとき, 2 次方程式  $ax^2 + 2b'x + c = 0$  の解は  $x = \frac{-b' \pm \sqrt{b'^2 - ac}}{a}$  である ( $D < 0$  のときは解なし). また, 解の個数は,  $\frac{D}{4} = b'^2 - ac$  の符号を調べればよい.

☞  $\frac{D}{4}$  による解の判別は慣れると大変使いやすい. 一方,  $x = \frac{-b' \pm \sqrt{b'^2 - ac}}{a}$  は使いにくいと感じる人もいる. そのような人は, 通常の解の公式で代用すればよい.

【例題 25】 2 次方程式  $x^2 - 6x + 4 = 0$  を解け.

【例題 26】 エ, ケには「ある」「ない」のいずれかを答えなさい.

1.  $x^2 + 14x + 4 = 0$  の判別式を  $D$  とする.  $\frac{D}{4} = b'^2 - ac$  に,  $b' = \boxed{\text{ア}}$ ,  $a = 1$ ,  $c = \boxed{\text{イ}}$  を代入して,

$\frac{D}{4} = \boxed{\text{ウ}}$  と分かる. よって, この 2 次方程式の解は  $\boxed{\text{エ}}$ .

2.  $3x^2 - 16x + 12 = 0$  の判別式を  $D$  とする.  $\frac{D}{4} = b'^2 - ac$  に,  $b' = \boxed{\text{オ}}$ ,  $a = \boxed{\text{カ}}$ ,  $c = \boxed{\text{キ}}$  を代

入して,  $\frac{D}{4} = \boxed{\text{ク}}$  と分かる. よって, この 2 次方程式は解を  $\boxed{\text{ケ}}$ .

【練習 27 : 2 次方程式の解の個数の判別 ( $x$  の係数が偶数の場合)】

$3x^2 - 2(m+1)x + \frac{1}{3}m^2 + m = 0$  の解の個数は、定数  $m$  の値によってどのように変わるか調べよ.

【発展 28 : 2 次方程式を解く (係数に根号を含む場合)】

次の 2 次方程式を解け.

①  $\sqrt{2}x^2 - 4x - \sqrt{2} = 0$

②  $2(2 - \sqrt{3})x^2 + 2(1 - \sqrt{3})x + 1 = 0$

1. 関数とは

A. 関数とは何か

「実数  $x$  を決めればただ 1 つの実数が決まる式」を ( $x$  の) 関数 (function) といい、 $f(x)$ 、 $g(x)$  のように表す\*5。また、このときの  $x$  を変数 (variable) という。

たとえば、 $3 \text{ m}^3$  の水が入っている水槽へ、毎分  $2 \text{ m}^3$  の割合で水を入れることを考える。水を  $x$  分間入れた後の、水槽の中の水の量は  $2x + 3 \text{ (m}^3\text{)}$  である。

つまり、「水槽の中の水の量 ( $\text{m}^3$ )」は  $x$  によって決まるので、それを  $f(x)$  とおけば

$$f(x) = 2x + 3 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

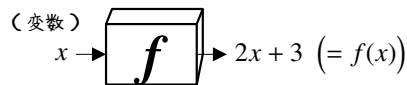
と書くことができる。①の変数  $x$  に、 $x = 3$  を代入すれば

$$f(3) = 2 \cdot 3 + 3 = 9$$

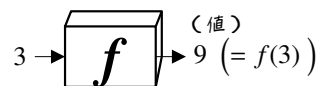
となって、3 秒後の水の量は  $9 \text{ m}^3$  と分かる。

ここで、 $f(3)$  は関数  $f(x)$  に  $x = 3$  を代入して得られる値 (value) と言う。

… 次のページで学ぶように、中学で学んだ関数の定義は、高校における関数の特別な場合になる。



時間 ( $x$ ) から水の量を定める規則



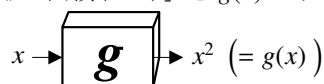
$x = 3$  を  $f(x)$  に代入して 9 を得る

【例題 29】 1 辺  $x \text{ cm}$  の正方形において「( $x$  によって決まる) 正方形の面積 ( $\text{cm}^2$ )」を  $g(x)$  とすれば

$$g(x) = x^2$$

となる。この  $g(x)$  について  $g(4)$  を求めなさい。

また、その値は、どんな図形の面積を計算した結果になるか。



正方形の 1 辺の長さ ( $x$ ) から面積を定める規則

【例題 30】 ある関数  $h(x)$  が  $h(x) = 2x^2 - 3x + 3$  で表されるとき、 $h(1)$ 、 $h(-2)$  の値を求めよ。

\*5  $p(x)$ 、 $a(x)$  などでもよいが、関数 (function) の頭文字である  $f$  からアルファベット順に、 $g$ 、 $h$  などであることが多い。また、大文字の  $F$ 、 $G$  などとも使われる。

【練習 31：関数を表す】

次の関数を求めよ。また、それぞれ、変数を表す文字を答えよ。

- (1) 縦が 4, 横が  $x$  の長方形の面積  $a(x)$
- (2)  $6\text{ m}^3$  の水が入っている水槽へ、毎分  $3\text{ m}^3$  の割合で水を入れたときの、 $w$  分後の水の量  $b(w)\text{ m}^3$

【練習 32：関数の値】

$f(x) = 2x + 3$ ,  $g(x) = x^2$ ,  $h(x) = 2x^2 - 3x + 3$  について、以下の問いに答えよ。

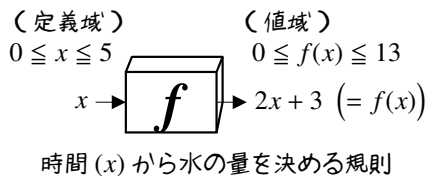
- (1)  $f(2)$ ,  $f(5)$ ,  $g(2)$ ,  $g(5)$  を求めよ、また、「 $x = 2t$  のときの  $f(x)$  の値」である  $f(2t)$  を  $t$  の式で表せ。
- (2)  $h(a)$ ,  $h(2t)$  の値を求めよ ( $a, t$  を用いてよい)。

**B. 関数の定義域・値域・最大値・最小値**

中学で学んだ関数と同じように、定義域、値域、最大値、最小値を考えることができる。

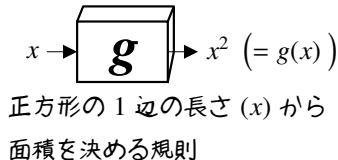
たとえば、p.69 の関数  $f(x)$  の例において、水槽の容積が  $13\text{ m}^3$  であったならば、 $f(x) = 2x + 3$  の定義域 (domain) は  $0 \leq x \leq 5$  である。というのも、 $5 < x$  では水槽から水があふれてしまうし、 $x < 0$  は意味では意味をもたない。

また、 $f(x)$  の値域 (range) は  $0 \leq f(x) \leq 13$ 、最小値 (minimum value) は  $f(0) = 0$ 、最大値 (maximum value) は  $f(5) = 13$  である。



【例題 33】 1 辺  $x\text{ cm}$  の正方形において、「 $(x$  によって決まる) 正方形の面積 ( $\text{cm}^2$ )」を表す関数  $g(x) = x^2$  について、以下の問いに答えよ。

1.  $x = 2$  は定義域に含まれるか。  $x = -1$ ,  $x = 0$  はどうか。
2. 定義域を  $1 \leq x < 5$  としたとき、 $g(x)$  の値域を求めよ。  
最小値・最大値があれば求めよ。



### C. $y$ を与える $x$ の関数 — $y = f(x)$

中学において「関数」と呼んでいた  $y = 2x + 3$  のような式も、「 $y$  を与える  $x$  の関数」として、単に関数とよぶことができる。このような「 $y$  を与える  $x$  の関数」は、一般的に  $y = f(x)$  などと表される\*6。

☞ もう少し概念を広げれば、関数とは「変数を決めると、ただ1つの実数値が決まる規則」のことである。何かを入力すれば、何か実数値を出力するもの、それを「関数」とみなしてよい。

### D. 文字定数

関数を表す式において、変数でない数値・文字を**定数** (constant) という。特に、変数でない文字を文字定数ということもある。

【例題 34】 関数  $f(x) = ax^3 + x^2 + bx + 2$  について、以下の問いに答えよ。

1.  $f(x)$  に含まれる文字定数をすべて答えよ。
2.  $a \neq 0$  のとき、 $f(x)$  は何次式か。
3.  $a = 0$  のとき、 $f(x)$  は何次式か。
4.  $a = b = 0$  であるとき、 $f(x)$  は何次式か。

## 2. グラフによる関数の図示

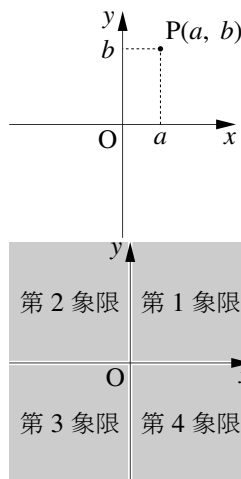
### A. 座標平面

関数を図示するには、中学までと同じように、**座標平面** (coordinate plane) を用いる。これは、平面に2本の直交する数直線 (**座標軸** (coordinate axes) という) で定められた平面である\*7。

座標平面は、座標軸によって次の4つの部分に分けられ、時計回りに

- $x > 0, y > 0$  の部分：第1象限 (first quadrant)
- $x < 0, y > 0$  の部分：第2象限 (second quadrant)
- $x < 0, y < 0$  の部分：第3象限 (third quadrant)
- $x > 0, y < 0$  の部分：第4象限 (fourth quadrant)

とよばれる。ただし、座標軸はどの象限にも含めない。



【例題 35】  $(-2, 2)$  は第  ア  象限、 $(1, -2)$  は第  イ  象限、 $(-2, -3)$  は第  ウ  象限である。

\*6 2つ以上の変数をもつ関数については、数学IIで詳しく学ぶ。

\*7 右の図の場合は、特に  $xy$  (座標) 平面といい、横の座標軸を  $x$  軸、縦の座標軸を  $y$  軸という。この  $x, y$  は他の文字でもよい。

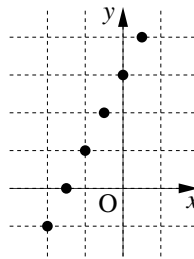
## B. 関数のグラフ

「変数の値」と「関数の値」の対応は、中学校で学んだやり方で、座標平面上に表すことができる。たとえば、関数  $f(x) = 2x + 3$  について考えよう。

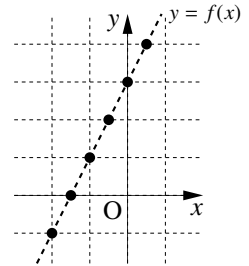
まず、 $f(-2) = -1$ 、 $f(-1) = 0$  などの値を計算して、左下のような表ができる。

$x$	...	-2	$-\frac{3}{2}$	-1	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	...
$f(x)$	...	-1	0	1	2	3	4	...

⇒



⇒



それぞれを座標平面上に点でとっていくと、変数  $x$  の値は無数にあるので最終的に直線となる。この直線を関数  $y = f(x)$  のグラフ (graph) という。

一般には、関数  $f(x)$  について、 $(x, f(x))$  を座標とする点全体の作る座標平面上の図形を「関数  $y = f(x)$  のグラフ (graph)」という。

**【例題 36】** 以下の  にあてはまる数値を答えよ。ただし、 $f(x) = 2x + 3$  とする。

- 点  $A(1, \text{ア})$ 、 $B(-3, \text{イ})$ 、 $C(\frac{2}{3}, \text{ウ})$  は  $y = f(x)$  のグラフ上にある。
- 点  $D(\text{エ}, 7)$ 、 $E(\text{オ}, 6)$ 、 $F(\text{カ}, \frac{1}{3})$  は  $y = f(x)$  のグラフ上にある。
1. と 2. で求めた点のうち、第 2 象限にある点を答えよ。

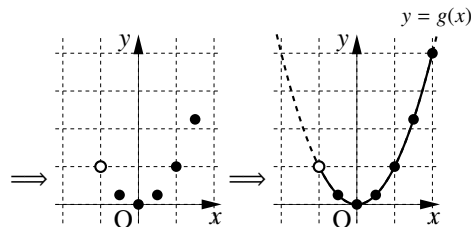
**【例題 37】** 以下の  にあてはまる数値を答えよ。ただし、 $g(x) = x^2$  とする。

- 点  $(2, \text{ア})$ 、 $(-3, \text{イ})$ 、 $(\frac{2}{3}, \text{ウ})$  は、 $y = g(x)$  のグラフ上にある。
- $y = g(x)$  のグラフ上にある  $y$  座標が 3 の点は、 $(\text{エ}, 3)$ 、 $(\text{オ}, 3)$  である。

### C. グラフと最大値・最小値

関数  $g(x) = x^2$  を定義域  $-1 < x \leq 2$  において考えると、一番右のようなグラフ  $y = g(x) (-1 < x \leq 2)$  を得る。

$x$	$(-1)$	$-\frac{1}{2}$	$0$	$\frac{1}{2}$	$1$	$\frac{3}{2}$	$2$
$g(x)$	$(1)$	$\frac{1}{4}$	$0$	$\frac{1}{4}$	$1$	$\frac{9}{4}$	$4$



つまり、放物線の一部がグラフとなる。定義域から外れた部分は、右図のように点線で書く。  $x = -1$  のように定義域の境目にあるが、定義域に含まれない点は、白丸で表す。

⋯  $x = -1$  は定義域に含まれないが、  $x = -0.9, -0.99, -0.999, \dots$  はすべて定義域に含まれるので、グラフは必ず白丸とつながる。

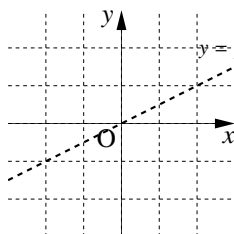
グラフの実数部分のうち、  $y$  座標が一番小さい点は  $(0, 0)$  であり、  $y$  座標が一番大きい点は  $(2, 4)$  である。ここから、関数  $g(x)$  の最小値が  $g(0) = 0$  であり、最大値が  $g(2) = 4$  であると分かる。

**【例題 38】** 関数  $p(x) = \frac{1}{2}x$ ,  $q(w) = -w^2$  について、以下の問いに答えよ。

1. 右のグラフに関数

$$y = p(x) \quad (-2 \leq x \leq 1)$$

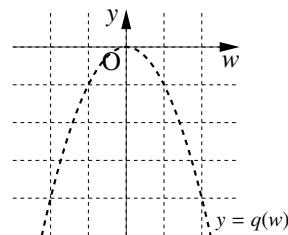
を書き込み、最大値・最小値があれば答えなさい。



2. 右のグラフに関数

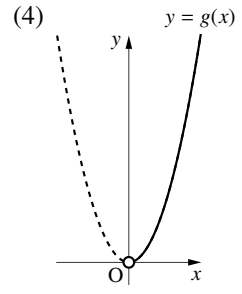
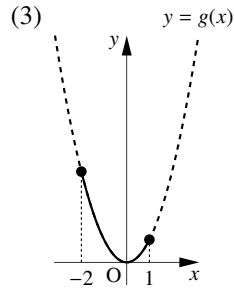
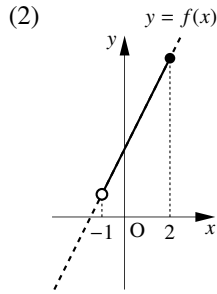
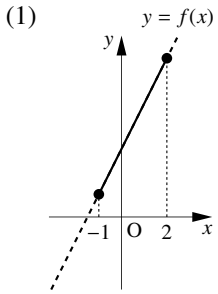
$$y = q(w) \quad (-2 < w \leq 1)$$

を書き込み、最大値・最小値があれば答えなさい。



【練習 39 : 定義域, 最大値, 最小値, 値域】

$f(x) = 2x + 3$ ,  $g(x) = x^2$  とする. 以下のグラフについて, それぞれ, 定義域, 最大値, 最小値, 値域を答えよ. 最大値・最小値がない場合は「なし」でよい.





### 3. 方程式・不等式の解と関数のグラフ

#### A. 1次方程式の解・1次関数のグラフ

たとえば、1次関数  $y = 2x + 1$  が  $y = 0$  となるときの  $x$  の値は1次方程式  $2x + 1 = 0$  を解けばよい。

このように、1次関数の  $y = 0$  となるときの値を求めるときに、1次方程式を解く必要があり、その逆も成り立つ。

#### 【暗記 40 : 1次方程式と1次関数】

以下の□にあてはまる数値を答えよ。

1. 1次関数  $y = 2x - 4$  のグラフ上のうち  $y$  座標が □ア□ になる点 A を求めるには、1次方程式

$$\squareイ = 0$$

を解けばよい。その結果、A(□ウ□, 0) と分かる。

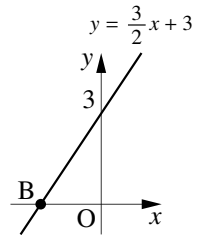
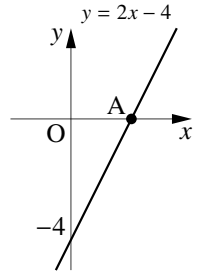
2. 1次関数  $y = \frac{3}{2}x + 3$  と □エ□ 軸の交点 B を求めるには

$$\frac{3}{2}x + 3 = 0$$

という1次方程式の解を求めればよい。その結果、B(□オ□, □カ□) と分かる。

3. 次のいずれの場合も、1次方程式  $3x - 9 = 0$  を解けばよい。

- 関数 □キ□ と □ク□ 軸の交点を求める。
- 関数 □キ□ の  $y$  座標が □ケ□ になるときの  $x$  座標を求める。



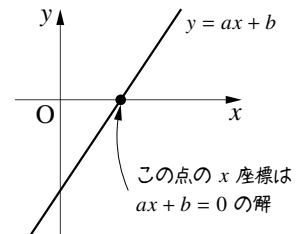
以上のことは、次のようにまとめられる。

#### 1次関数のグラフと1次方程式の解

$ax + b$  という1次式に対して

- $ax + b = 0$  を解く
- $y = ax + b$  のグラフと  $x$  軸の交点 (の  $x$  座標) を求める
- $y = ax + b$  のグラフ上の  $y$  座標が 0 になる点 (の  $x$  座標) を求める

はいずれも同じである。



## B. 連立方程式の解・1次関数のグラフ

### 【暗記 41: 連立方程式と1次関数】

以下の□にあてはまる数値を答えよ。

1. 2つの1次関数  $y = 2x + 1$  と  $y = -3x + 3$  の交点 A の座標は

連立方程式□ア

を解いて求めることができ、A(□イ, □ウ)である。

2. 連立方程式  $\begin{cases} y = 3x + 4 \\ -2x + 4 = y \end{cases}$  の解は、2つの1次関数□エ, □オの交点に一致し、 $(x, y) = (\squareカ, \squareキ)$ である。

### 2つの1次関数のグラフの共有点と連立方程式

2つの1次関数

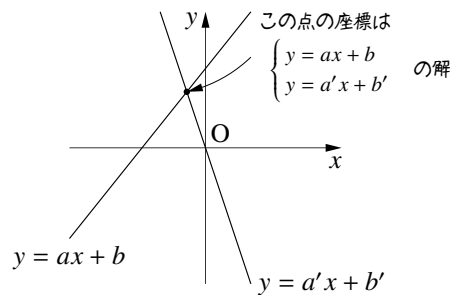
$$y = ax + b$$

$$y = a'x + b'$$

のグラフの共有点の(x座標, y座標)は、連立方程式

$$\begin{cases} y = ax + b \\ y = a'x + b' \end{cases}$$

の解(x, y)に一致する。



☞ 1次方程式  $ax + b = 0$  は、連立方程式  $\begin{cases} y = 0 \\ y = ax + b \end{cases}$  の解に一致する。このことから、『1次方程式

の解・1次関数のグラフ』の内容は、『連立方程式の解・1次関数のグラフ』の特別な場合と考えることもできる。

C. 1次不等式と1次関数の関係

【暗記 42 : 1次不等式と1次関数】

□に適切な数値・文字を答えよ。□ウ, □クには  $<$ ,  $\leq$ ,  $>$ ,  $\geq$  の中から答えよ。

1. 右の直線  $y = -2x - 8$  について, A の座標は

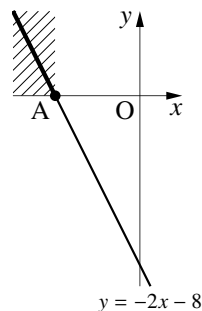
1次方程式 □ア = 0

を解いて, A(□イ, 0) と求められる。

また, グラフの太線部分である  $y \squareウ 0$  の範囲は

1次不等式 □エ

を解いて □オ と求められ, これは右上のグラフとも一致する。



2. 右の直線  $y = 7x - 2$  について, B の座標は

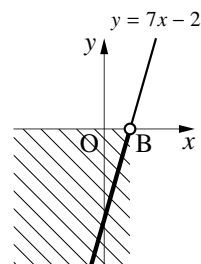
1次方程式 □カ = 0

を解いて, B(□キ, 0) である。

また, グラフの太線部分である  $y \squareク 0$  の範囲は

1次不等式 □ケ

を解いて □コ と求められ, これは右上のグラフとも一致する。



1次不等式の解

$a > 0$  の場合の, 1次不等式と1次関数の解の関係はつぎのようにまとめることができる。

	$ax + b = 0$ の解	$x = -\frac{b}{a}$
	$ax + b > 0$ の解	$x > -\frac{b}{a}$
	$ax + b \geq 0$ の解	$x \geq -\frac{b}{a}$
	$ax + b < 0$ の解	$x < -\frac{b}{a}$
	$ax + b \leq 0$ の解	$x \leq -\frac{b}{a}$

… 上の表は覚えなくてよい。1次不等式と1次関数の対応を確認できればよい。

## 4. 絶対値を含む1次関数・方程式・不等式

### A. 絶対値と方程式・不等式の関係

『絶対値』(第1章)でも学んだように、実数  $x$  の絶対値  $|x|$  は、数直線上での原点と実数  $x$  に対応する点との距離を表すので、次のことがいえる。

#### 絶対値と方程式・不等式の関係

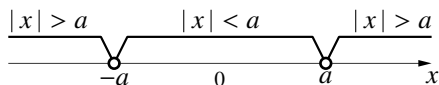
絶対値を含む  $x$  の方程式、不等式に関して

$$|x| = a \Leftrightarrow x = \pm a$$

$$|x| < a \Leftrightarrow -a < x < a$$

$$|x| > a \Leftrightarrow x < -a \text{ または } a < x$$

ただし、 $a > 0$  とする\*<sup>8</sup>。



#### 【練習 43 : 絶対値を含む1次方程式・1次不等式】

次の方程式・不等式を解け。

(1)  $|x - 1| = 3$

(2)  $|3x - 2| = 6$

(3)  $|x + 1| > 4$

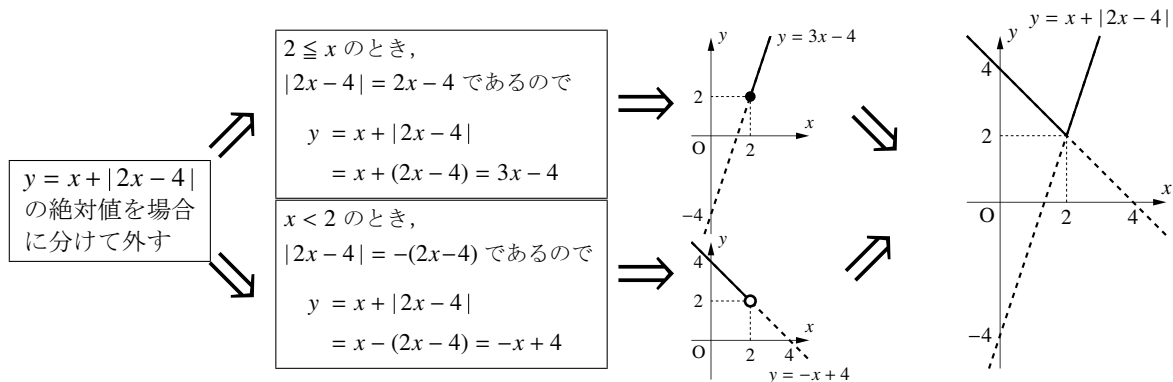
(4)  $|5x - 2| \leq 4$

\*<sup>8</sup> 実数の絶対値は0以上の値なので、 $a = 0$  や  $a < 0$  の場合を考える必要性は低い。たとえば、不等式  $|x| < -2$  の解は「解なし」、不等式  $|x| > 0$  の解は「0以外のすべての実数」である。

## B. 場合に分けて絶対値を外す

前ページの関係が使えない場合は、場合に分けて絶対値を外す必要がある。

たとえば、関数  $y = x + |2x - 4|$  のグラフは、次のように場合に分けて描く。



### 【練習 44：絶対値を含む 1 次関数】

次の式で与えられた関数のグラフを描け。

(1)  $y = 2x + |x - 1|$

(2)  $y = |x - 4|$



(2) のグラフは、直線  $y = x - 4$  のうち  $y < 0$  の部分を、 $y > 0$  になるよう  $x$  軸に対して対称移動したグラフになっている。

【発展 45 : 絶対値を含む 1 次方程式】

次の方程式を解け.

①  $|x + 1| = 2x$

②  $|3x - 4| = x + 8$

③  $|2x - 2| = x - 4$

【発展 46 : 絶対値を含む 1 次不等式】

次の不等式を解け.

①  $|x + 6| > 3x$

②  $|2x - 1| \leq x + 2$

## 2.4 2次関数とそのグラフ

2次関数のグラフは、「頂点」「軸（に対する対称性）」という大きな特徴を持ち、2次方程式、2次不等式を解くときの重要な道具ともなる。

### 1. 2次関数のグラフ

#### A. 2次関数の定義

関数  $f(x)$  が  $x$  の2次式で表されるとき、つまり、 $a (\neq 0)$ 、 $b$ 、 $c$  を定数として

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

の形で表されるとき、 $f(x)$  は  $x$  の**2次関数** (quadratic function) であるという。

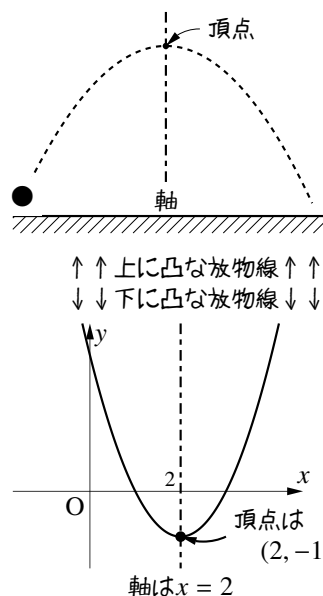
2次関数の値を  $y$  とおいた式  $y = ax^2 + bx + c$  も、( $y$  を与える)  $x$  の2次関数という。

#### B. 2次関数のグラフの基本

後で見ると、2次関数のグラフは必ず**放物線** (parabola) になる\*9。

放物線は必ず対称軸をもつ。この対称軸のことを単に**軸** (axis) といい、この軸と放物線の交点のことを**頂点** (vertex) という。

また、放物線の頂点が上にあれば「**上に凸** (convex)」な放物線といい、頂点が下にあれば「**下に凸**」な放物線という。



#### C. 直線 $x = a$

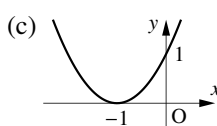
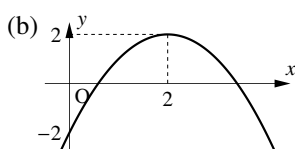
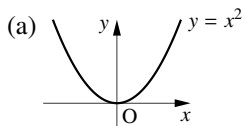
右の放物線の軸は、図中の直線 --- である。この直線は

「 $x$  座標が2である点を全て集めてできる直線」

に一致するので、「直線  $x = 2$ 」とよばれる。

数学Iで学ぶ放物線の軸は、必ず「直線  $x = a$ 」の形をしている。

【例題 47】 3つの放物線 (a)-(c) について、以下の問いに答えよ。



- 上に凸なグラフ、下に凸なグラフをそれぞれすべて選びなさい。
- 頂点の座標、軸の方程式をそれぞれ答えなさい。

\*9 放物線とは、空中に物を投げたときにできる軌跡 (物の通った跡) のことである。野球のホームランの打球や、サッカーのゴールキック、バレーボールのトスなど、ボールはいつでも放物線を描く。そのため、物理において投げられた物体の通り道について学ぶとき、2次関数がいられる。



この確認問題の (a) のグラフを「放物線  $y = x^2$ 」と言うことがある。

このように「2次関数  $y = ax^2 + bx + c$  のグラフ」のことを「放物線  $y = ax^2 + bx + c$ 」と言うこともある。このときの  $y = ax^2 + bx + c$  は、**放物線の方程式** (equation of parabola) といわれる。

【例題 48】  $y$  軸上の点は、 $x$  座標が **ア** となるので、 $y$  軸は「直線 **イ**」ともいわれる。

#### D. $y = ax^2$ のグラフ

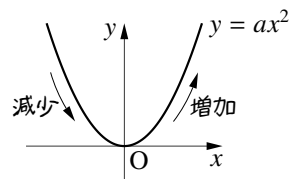
2次関数  $y = ax^2 + bx + c$  において  $b = c = 0$  の場合、つまり  $y = ax^2$  のグラフは、中学校で学んだように次のような特徴がある。

$y = ax^2$  のグラフの特徴

I) 軸は直線  $x = 0$  ( $y$  軸)、頂点は原点  $(0, 0)$  の放物線になる。

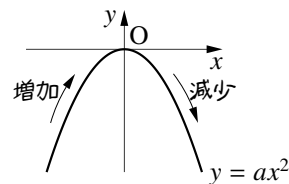
II) i)  $a > 0$  のとき

- $y \geq 0$  の範囲にある。
- 放物線は「下に凸」である。
- $x$  の増加に対し  $\begin{cases} x < 0 \text{ では } y \text{ は減少する} \\ x > 0 \text{ では } y \text{ は増加する} \end{cases}$



ii)  $a < 0$  のとき

- $y \leq 0$  の範囲にある。
- 放物線は「上に凸」である。
- $x$  の増加に対し  $\begin{cases} x < 0 \text{ では } y \text{ は増加する} \\ x > 0 \text{ では } y \text{ は減少する} \end{cases}$



【例題 49】 3つの放物線 (a)-(c) について、以下の問いに答えよ。

(a) 放物線  $y = x^2$

(b) 放物線  $y = -3x^2$

(c) 放物線  $y = 2x^2$

1. 上に凸なグラフ、下に凸なグラフをそれぞれすべて選びなさい。
2.  $x > 0$  で  $y$  が増加するグラフをすべて求めなさい。
3. それぞれ、グラフ上における  $x$  座標が 1 である点の座標を答えなさい。

### E. $y = ax^2 + c$ のグラフ

例として、次の2つの2次関数の関係を考えてみよう。

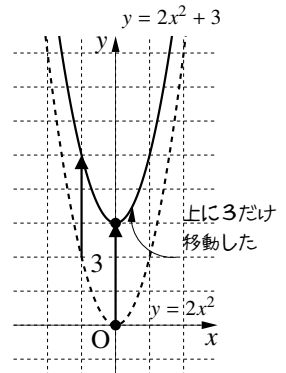
$$y = 2x^2, \quad y = 2x^2 + 3$$

$x$	...	-3	-2	-1	0	1	2	3	...
$2x^2$	...	18	8	2	0	2	8	18	...
$2x^2 + 3$	...	21	11	5	3	5	11	21	...

3 を足す

上の表から、 $y = 2x^2 + 3$  のグラフは、 $y = 2x^2$  のグラフを  $y$  軸方向に +3 平行移動した放物線とわかる\*10。

この平行移動によって、放物線の軸が  $y$  軸から変わることはない。しかし、頂点は移動し、原点より  $y$  軸方向に 3 大きい点  $(0, 3)$  であることがわかる。



【例題 50】  に適当な数・式を答え、放物線 , ,  $y = 2x^2 - 4$  のグラフを書け。

1. 頂点  $(0, 0)$  の放物線  $y = -x^2$

↓  $y$  軸方向に  
+3 平行移動

頂点  $(\text{ア}, \text{イ})$

の放物線

これは  $(1, \text{エ})$  を通る

2. 頂点  $(0, 0)$  の放物線  $y = 3x^2$

↓  $y$  軸方向に  
+5 平行移動

頂点  $(\text{オ}, \text{カ})$

の放物線

これは  $(1, \text{ク})$  を通る

3. 頂点  $(0, 0)$  の放物線  $y = 2x^2$

↓  $y$  軸方向に  
 平行移動

頂点  $(\text{コ}, \text{サ})$

の放物線  $y = 2x^2 - 4$

これは  $(1, \text{シ})$  を通る

高校数学においてグラフを描くときは、方眼紙を用いず、概形を示すだけのことが多い。

放物線の場合、頂点と、他の 1 点を書き入れれば十分である。

### $y = ax^2 + c$ のグラフ

$y = ax^2 + c$  のグラフは、 $y = ax^2$  のグラフを

「 $y$  軸方向に  $c$  だけ平行移動」

した放物線である。このとき、軸は  $y$  軸(直線  $x = 0$ )、頂点は  $(0, c)$  となる。

\*10 このことは、式の形からも理解できる。同じ  $x$  の値を代入しても、 $y = 2x^2 + 3$  の  $y$  の値の方が、 $y = 2x^2$  の  $y$  の値より 3 だけ大きく計算されるからである。

## F. $y = a(x - p)^2$ のグラフ

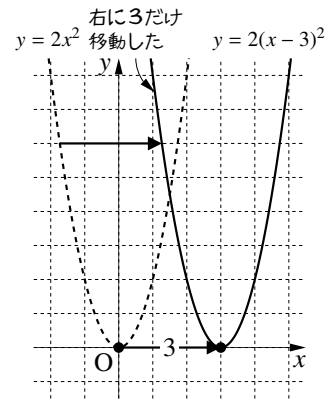
例として、次の2つの2次関数の関係を考えてみよう。

$$y = 2x^2, \quad y = 2(x - 3)^2$$

$x$	...	-2	-1	0	1	2	3	4	5	...
$2x^2$	...	8	2	0	2	8	18	32	50	...
$2(x-3)^2$	...	50	32	18	8	2	0	2	8	...

上の表から、 $y = 2(x - 3)^2$  のグラフは、 $y = 2x^2$  のグラフを  $x$  軸方向に +3 平行移動した放物線とわかる\*11。

この平行移動によって、軸は  $x$  軸方向に 3 移動し、直線  $x = 3$  に重なる。また、頂点も移動し、原点より  $x$  軸方向に 3 大きい点  $(3, 0)$  であることがわかる。



【例題 51】  に適当な数・式を答え、放物線 , ,  $y = -2(x - 4)^2$  のグラフを書け。

1. 頂点  $(0, 0)$ , 軸  $x = 0$   
の放物線  $y = 2x^2$

↓  $x$  軸方向に  
+3 平行移動

頂点 (, )  
軸  の放物線

これは  $(0, \text{オ})$  を通る

2. 頂点  $(0, 0)$ , 軸  $x = 0$   
の放物線  $y = -3x^2$

↓  $x$  軸方向に  
-2 平行移動

頂点 (, )  
軸  の放物線

これは  $(0, \text{コ})$  を通る

3. 頂点  $(0, 0)$ , 軸  $x = 0$   
の放物線  $y = -2x^2$

↓  $x$  軸方向に  
 平行移動

頂点 (, )  
軸  の放物線  $y = -2(x - 4)^2$

これは  $(0, \text{ソ})$  を通る

—  $y = a(x - p)^2$  のグラフ —

$y = a(x - p)^2$  のグラフは、 $y = ax^2$  のグラフを

「 $x$  軸方向に  $p$  だけ平行移動」

した放物線である。このとき、軸は直線  $x = p$ , 頂点は  $(p, 0)$  となる。

\*11 このことは、式の形からも理解できる。 $y = 2(x - 3)^2$  の  $y$  の値と  $y = 2x^2$  の  $y$  の値を一致させるには、 $2(x - 3)^2$  の  $x$  には、 $2x^2$  の  $x$  より 3 大きい値を代入しなければならない。

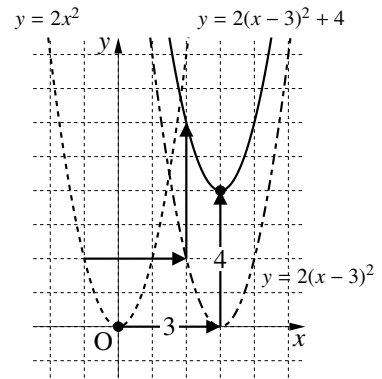
**G.  $y = a(x - p)^2 + q$  のグラフ**

たとえば、 $y = 2(x - 3)^2 + 4$  のグラフは、 $y = 2x^2$  のグラフを次のように移動させればよい。

$$y = 2x^2 \xrightarrow[\text{3 平行移動}]{\text{x 軸方向に}} y = 2(x - 3)^2$$

$$\xrightarrow[\text{4 平行移動}]{\text{y 軸方向に}} y = 2(x - 3)^2 + 4$$

この平行移動によって、頂点は、原点より  $x$  軸方向に 3 大きく  $y$  軸方向に 4 大きい点  $(3, 4)$  に移動する。軸は直線  $x = 3$  になる。



**【例題 52】**  に適当な数・式を答え、放物線 , ,  のグラフを書け。

1. 放物線  $y = 2x^2$

↓  $x$  軸方向に  
+1 平行移動

頂点 (, ) , 軸   
の放物線

↓  $y$  軸方向に  
+3 平行移動

頂点 (, ) , 軸   
の放物線

これは  $(0, \text{ケ})$  を通る

2. 放物線  $y = -x^2$

↓  $x$  軸方向に  
-4 平行移動

頂点 (, ) , 軸   
の放物線

↓  $y$  軸方向に  
+7 平行移動

頂点 (, ) , 軸   
の放物線

これは  $(0, \text{ツ})$  を通る

3. 放物線  $y = 3x^2$

↓  $x$  軸方向に  
 平行移動

↓  $y$  軸方向に  
 平行移動

頂点  $(1, -5)$  , 軸   
の放物線

これは  $(0, \text{ヌ})$  を通る

**$y = a(x - p)^2 + q$  のグラフ**

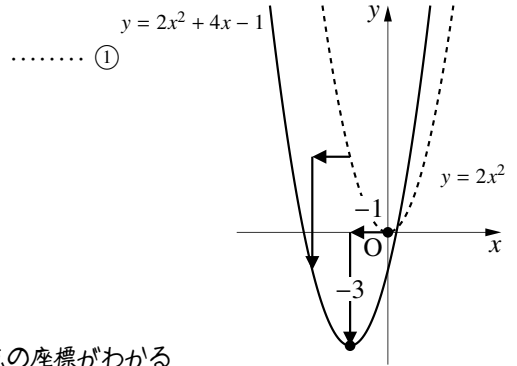
$y = a(x - p)^2 + q$  のグラフは、 $y = ax^2$  のグラフを

「 $x$  軸方向に  $p$  だけ平行移動し、 $y$  軸方向に  $q$  だけ平行移動」  
した放物線である。このとき、軸は直線  $x = p$ 、頂点は  $(p, q)$  となる。

## H. 平方完成

2次式  $ax^2 + bx + c$  を  $a(x-p)^2 + q$  の形に変形することを、平方完成 (completing square) という\*12. たとえば、

$$y = 2x^2 + 4x - 1$$



のグラフを描くには、次のような平方完成が必要となる.

$$\begin{aligned} y &= 2x^2 + 4x - 1 \\ &= 2\{x^2 + 2x\} - 1 && \leftarrow x^2 \text{の係数でくくる} \\ &= 2\{(x+1)^2 - 1\} - 1 && \leftarrow \text{平方の形にする(平方完成)} \\ &= 2(x+1)^2 - 2 - 1 && \leftarrow \{ \} \text{をはずす} \\ &= 2(x+1)^2 - 3 && \leftarrow \text{定数項を整理する, これで頂点の座標がわかる} \end{aligned}$$

①のグラフは、 $y = 2x^2$  のグラフを  $x$  軸方向に  $-1$ ,  $y$  軸方向に  $-3$  平行移動した放物線になるとわかる.

平方完成の変形のうち、平方を作る変形を取り出すと、以下のようなになる.

$$\begin{aligned} &x^2 + \quad \circ x \\ &\quad \downarrow \text{半分} \\ &= \left( x + \frac{\circ}{2} \right)^2 - \left( \frac{\circ}{2} \right)^2 \\ &\quad \uparrow \text{ここの2乗を引く} \end{aligned}$$

**【例題 53】** 以下の2次式を平方完成しなさい.

1.  $x^2 + 6x$     2.  $x^2 - 4x$     3.  $x^2 - 8x + 5$     4.  $2x^2 - 4x$     5.  $2x^2 + 4x + 3$     6.  $-3x^2 - 6x + 1$

\*12 変形によって、 $(x-p)^2$  という平方 (2乗) を作ることから、この名称が付いている. これはたいへん重要な式変形であり、実際、2次方程式の解の公式も、平方完成の考え方で導かれている.

【練習 54 : 平方完成】

以下の 2 次式を ( $x$  について) 平方完成しなさい.

- (1)  $x^2 - 6x$    (2)  $x^2 + 4x$    (3)  $x^2 - 3x$    (4)  $x^2 - 6x + 3$    (5)  $x^2 - 3x + 1$    (6)  $2x^2 - 8x$   
(7)  $-2x^2 - 4x$    (8)  $2x^2 + 8x + 1$    (9)  $-3x^2 + 9x + 2$    (10)  $\frac{1}{2}x^2 + 2x$    (11)  $-\frac{1}{3}x^2 - 4x + 3$   
(12)  $-\frac{3}{2}x^2 - 5x + 1$    (13)  $x^2 - 2ax$    (14)  $2x^2 + 4ax + a^2$

## I. $y = ax^2 + bx + c$ のグラフ

次のようにして、2次関数  $y = ax^2 + bx + c$  のグラフが必ず放物線になることが分かる。

### $y = ax^2 + bx + c$ のグラフ

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$= a \left\{ x^2 + \frac{b}{a}x \right\} + c \quad \leftarrow x^2 \text{ の係数でくくる}$$

$$= a \left\{ \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2}{4a^2} \right\} + c \quad \leftarrow \text{平方完成}$$

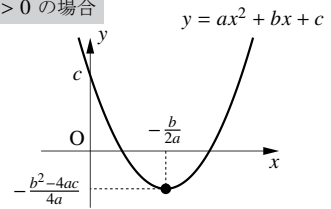
$$= a \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2}{4a} + c \quad \leftarrow \{ \} \text{をはずす}$$

$$= a \left( x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a} \quad \leftarrow \text{定数項を整理する}$$

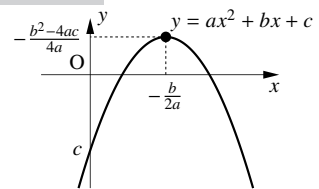
と平方完成して、2次関数  $y = ax^2 + bx + c$  のグラフは

- 軸は直線  $x = -\frac{b}{2a}$ 、頂点は  $\left( -\frac{b}{2a}, -\frac{b^2 - 4ac}{4a} \right)$  の放物線となる。また、 $y$  軸との交点は  $(0, c)$  である。

$a > 0$  の場合



$a < 0$  の場合



上の結果を暗記する必要はない。2次関数のグラフを考えるときは毎回、平方完成をしよう。また、2次関数のグラフには、放物線の開き具合を決めるため、 $y$  軸との交点を必ず書きこむ（軸が直線  $x = 0$  であった場合は、適当な1点を書き込む）。

**【例題 55】** 2次関数  $f(x) = x^2 - 4x + 5$ ,  $g(x) = -2x^2 - 4x + 1$  について、以下の問いに答えなさい。

1.  $f(x)$ ,  $g(x)$  を平方完成しなさい。
2.  $y = f(x)$  の頂点の座標、軸の方程式を求め、グラフを書きなさい ( $y$  軸との交点を書き込むこと)。
3.  $y = g(x)$  の頂点の座標、軸の方程式を答え、グラフを書きなさい ( $y$  軸との交点を書き込むこと)。

【練習 56 : 放物線を描く】

次の放物線の頂点の座標と軸の方程式を答え、グラフを描け.

(1)  $y = x^2 - 2x + 3$

(2)  $y = -3x^2 + 6x$

(3)  $y = 2x^2 + 8x + 5$

(4)  $y = -2x^2 - 6x - \frac{5}{2}$

(5)  $y = \frac{1}{2}x^2 - x - 2$



【練習 57 : 2 次関数の平行移動】

放物線  $y = \frac{1}{2}x^2$  のグラフを平行移動し、頂点が  $(-2, -6)$  となったグラフを  $C$  とする.

- (1) 放物線  $C$  の方程式を求めよ.
- (2)  $C$  を  $x$  軸方向に 3,  $y$  軸方向に  $-2$  平行移動したグラフを  $C_1$  とする.  $C_1$  の頂点の座標と,  $C_1$  の方程式を求めよ.
- (3)  $C$  を平行移動した結果, 頂点が  $(-3, 2)$  にあるグラフを  $C_2$  とする.  $C_2$  の式を求めよ. このとき,  $C$  をどのように平行移動して  $C_2$  になっただろうか.

## 2. 2次関数の決定

### A. 準備1～方程式への代入

たとえば、関数  $y = x^2 + bx$  のグラフが  $(2, 1)$  を通るならば、 $y = x^2 + bx$  に  $(x, y) = (2, 1)$  を代入した等式は成り立つ。つまり

$$1 = 2^2 + b \cdot 2 \Leftrightarrow 1 = 4 + 2b$$

より  $b = -\frac{3}{2}$  と分かる。一般に、関数  $y = f(x)$  のグラフが  $(p, q)$  を通るなら  $q = f(p)$  が成り立つ (p.72).

【例題 58】 以下の問いに答えなさい。

- 放物線  $y = -x^2 + bx + 3$  が  $(-1, -3)$  を通るとき、 $b$  の値を求めよ。
- 放物線  $y = 2(x - p)^2 + 3$  が  $(1, 5)$  を通るとき、 $p$  の値を求めよ。

### B. 準備2～連立3元1次方程式を解く

一般に、未知の文字を3つ含む、3つの(1次)連立方程式のことを連立3元1次方程式という。これを解くには、消去する文字を決め、代入法・加減法によって消去すればよい。

【例題 59】 連立3元1次方程式 
$$\begin{cases} 2x + y - 2z = 1 & \dots\dots\dots ① \\ x + y - z = 4 & \dots\dots\dots ② \\ x - 2y + 3z = -1 & \dots\dots\dots ③ \end{cases}$$
 を解こう。

① - ② によって、**ア** を消去した式 **イ** を得る。

$2 \times ① + ③$  によって、**ウ** を消去した式 **エ** を得る。

**イ** と **エ** を連立して、 $(x, z) = (\text{オ}, \text{カ})$  を得て、最後に②から  $y = \text{キ}$  を得る。

「連立3元1次方程式を解く」とは、上の問題でいえば「式①、②、③を全て同時に満たす  $(x, y, z)$  の組を見つける」ということになる。

**C. 一般型  $y = ax^2 + bx + c$  の決定～軸や頂点について何もわかっていない場合**

グラフが通る 3 点を与えるだけでも、2 次関数はただ 1 つに決まる。この場合は、求める 2 次関数を  $y = ax^2 + bx + c$  の形において考える。

**【例題 60】** (1, 5), (-1, 1), (-2, 2) を通る 2 次関数を求めてみよう。

1. 求める 2 次関数を  $y = ax^2 + bx + c$  とおく。これが  
(1, 5) を通るので等式 **ア** を満たし、  
(-1, 1) を通るので等式 **イ** を満たし、  
(-2, 2) を通るので等式 **ウ** を満たす。
2. **ア**, **イ**, **ウ** の 3 元一次連立方程式を解いて、 $(a, b, c) = (\mathbf{エ}, \mathbf{オ}, \mathbf{カ})$  を得るので、求める 2 次関数は **キ** と分かる。

【練習 61 : 軸や頂点について何もわかっていない場合】

グラフが 3 点  $A(1, 6)$ ,  $B(-2, -9)$ ,  $C(4, 3)$  を通るような 2 次関数を求めよ.

【練習 62 : 連立 3 元 1 次方程式】

$$\text{連立 3 元 1 次方程式} \begin{cases} 3x + 2y - 2z = 7 & \dots\dots\dots \text{①} \\ x + 3y = -5 & \dots\dots\dots \text{②} \\ -3x + z = -7 & \dots\dots\dots \text{③} \end{cases} \text{ を解け.}$$

**D. 平方完成型  $y = a(x - p)^2 + q$  の決定～軸や頂点について条件が与えられた場合**

頂点とグラフが通る 1 点, もしくは, 軸とグラフが通る 2 点がわかれば, 2 次関数はただ 1 つに決まる.  
p.86 の『 $y = a(x - p)^2 + q$  のグラフ』で学んだことを用いて考えよう.

**【例題 63】** 次の 4 つの 2 次関数について, 問いに答えなさい.

a)  $y = a(x - p)^2 + 2$       b)  $y = a(x - 3)^2 + q$       c)  $y = 3(x - 2)^2 + q$       d)  $y = a(x - 2)^2 + 3$

1. 上の 2 次関数のうち,  $a, p, q$  の値に関係なく頂点が  $(2, 3)$  であるものを選べ. また, そのグラフが  $(1, 2)$  を通るとき, 2 次関数を決定せよ.
2. 上の 2 次関数のうち, 軸が  $x = 3$  であるものを選べ. また, そのグラフが  $(1, 4), (-1, -2)$  を通るとき, 2 次関数を決定せよ.



上の問題で, a) は「頂点の  $y$  座標が 2 であるグラフ», c) は「軸が  $x = 2$  であり,  $y = 3x^2$  を平行移動してできたグラフ」ということができる.

**【例題 64】** 2 点  $(0, 0), (3, 6)$  を通り, 軸が  $x = 1$  である放物線の方程式を求めよ.

【練習 65 : 頂点や軸について条件が与えられた場合】

グラフが次の条件を満たす 2 次関数を求めよ.

- (1) 頂点が  $(1, -3)$  で, 点  $(-1, 5)$  を通る.
- (2) 軸が直線  $x = -2$  で, 2 点  $(-3, 2)$ ,  $(0, -1)$  を通る.
- (3) ㊦㊧ 放物線  $y = -2x^2$  を平行移動した結果, 直線  $y = 2x + 1$  上に頂点があり,  $(3, 3)$  を通る.

2次関数の決定にあたっては、未知の2次関数を

- $y = ax^2 + bx + c$  (一般型)
- $y = a(x - p)^2 + q$  (平方完成型)
- $y = a(x - \alpha)(x - \beta)$  (因数分解型) ← p.121 で学ぶ

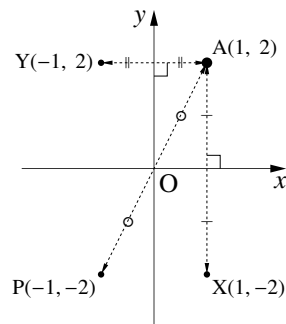
のうち、どの形で表現するかが重要になっている。

### 3. 2次関数の対称移動・平行移動

#### A. 点の対称移動

まず、点  $A(1, 2)$  を対称移動することを考えよう。

- $x$  軸について対称移動したとき  $A(1, 2) \rightarrow X(1, -2)$   
 $x$  座標はそのままとし、 $y$  座標のみ符号を逆転、と同じである。
- $y$  軸について対称移動したとき  $A(1, 2) \rightarrow Y(-1, 2)$   
 $x$  座標のみ符号を逆転、 $y$  座標はそのままとし、と同じである。
- 原点について対称移動したとき  $A(1, 2) \rightarrow P(-1, -2)$   
 $x$  座標も  $y$  座標も符号を逆転させることと同じである。



たとえば、 $y$  軸について対称移動しても対称の中心となる  $y$  (座標) はそのままと理解できる。

#### 【例題 66】

1.  $Z(2, -1)$  を  $x$  軸について対称移動した点  $Z_x$ 、 $y$  軸について対称移動した点  $Z_y$ 、原点について対称移動した点  $Z_0$  をそれぞれ求めよ。
2. 以下の点について、 $x$  軸対称な 2 点の組、 $y$  軸対称な 2 点の組、原点对称な 2 点の組をそれぞれすべて答えよ。

$A(4, 1)$ ,  $B(-4, 2)$ ,  $C(4, -1)$ ,  $D(4, -2)$ ,  $E(-4, 1)$

【練習 67 : 点の対称移動】

次の2点は、 $x$ 軸、 $y$ 軸、原点のうち、何について対称か、それぞれ答えよ。

- a)  $(-3, 5)$  と  $(3, 5)$                       b)  $(1, 3)$  と  $(-1, -3)$                       c)  $(-2, -3)$  と  $(2, -3)$   
 d)  $(3, 5)$  と  $(3, -5)$                       e)  $(-2, 3)$  と  $(2, -3)$                       f)  $(0, 3)$  と  $(0, -3)$

**B. 文字の置き換えで対称移動を考える**

点の対称移動について、以下のことが成り立っていた (p.97).

- $x$  軸について対称移動するには、 $y$  座標のみ符号を逆転させればよい.
- $y$  軸について対称移動するには、 $x$  座標のみ符号を逆転させればよい.
- 原点について対称移動するには、 $x$  座標も  $y$  座標も符号を逆転させればよい.

同じことを、グラフの対称移動にもあてはめることができる.

たとえば、放物線  $y = x^2 + 3x + 2$  の対称移動は次のようになる.

$$y = x^2 + 3x + 2 \xrightarrow[\text{(x軸対称移動)}]{y \text{ を } -y \text{ に代える}} -y = x^2 + 3x + 2 \quad (\Leftrightarrow y = -x^2 - 3x - 2)$$

$$y = x^2 + 3x + 2 \xrightarrow[\text{(y軸対称移動)}]{x \text{ を } -x \text{ に代える}} y = (-x)^2 + 3 \cdot (-x) + 2 \quad (\Leftrightarrow y = x^2 - 3x + 2)$$

$$y = x^2 + 3x + 2 \xrightarrow[\text{(原点对称移動)}]{x \text{ を } -x \text{ に代えて, } y \text{ を } -y \text{ に代える}} -y = (-x)^2 + 3 \cdot (-x) + 2 \quad (\Leftrightarrow y = -x^2 + 3x - 2)$$

【例題 68】 放物線  $y = 2x^2 - 8x + 9$  を  $C$  とする.

- $C$  を  $x$  軸に関して対称移動した放物線  $C_x$  の方程式は  $\boxed{\text{ア}}$  であり、頂点は  $\boxed{\text{イ}}$  になる.
- $C$  を  $y$  軸に関して対称移動した放物線  $C_y$  の方程式は  $\boxed{\text{ウ}}$  であり、頂点は  $\boxed{\text{エ}}$  になる.
- $C$  を原点に関して対称移動した放物線  $C_o$  の方程式は  $\boxed{\text{オ}}$  であり、頂点は  $\boxed{\text{カ}}$  になる.
- $C$  の頂点は  $\boxed{\text{キ}}$  である.  $C$  と  $C_x$  の頂点を比べると、たしかに  $\boxed{\text{キ}}$  と  $\boxed{\text{イ}}$  が  $x$  軸対称になっているのが分かる. 同様に、 $\boxed{\text{キ}}$  と  $\boxed{\text{エ}}$  は  $y$  軸対称、 $\boxed{\text{キ}}$  と  $\boxed{\text{カ}}$  は原点对称であるのが分かる.

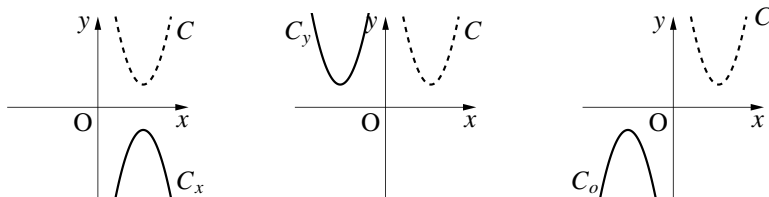


一般に、次のことがどんな関数のグラフでも成り立つ。特に、1次関数や2次関数でも正しい。詳しい証明については、「一般の対称移動について (p.142)」を参照すること。

— グラフの対称移動 —

- $x$  軸について対称移動するには、 $y$  を  $-y$  に代えればよい。
- $y$  軸について対称移動するには、 $x$  を  $-x$  に代えればよい。
- 原点について対称移動するには、 $x$  を  $-x$  に代え、 $y$  を  $-y$  に代えればよい。

前ページの【例題 68】におけるグラフの移動を実際に図示すると、次のようになる。



C. 文字の置き換えで平行移動を考える

『 $y = a(x - p)^2$  のグラフ』(p.85) は放物線  $y = ax^2$  を「 $x$  軸方向に  $p$  平行移動」したグラフであり

$$y = ax^2 \xrightarrow{x \text{ を } x-p \text{ に代える}} y = a(x-p)^2$$

と考えられる。同様に、「 $y$  軸方向に  $q$  平行移動」することは  $y$  を  $y - q$  におきかえることと同じである。

たとえば、放物線  $y = x^2 + 3x + 2$  を  $x$  軸方向に 4、 $y$  軸方向に  $-1$  移動すれば、次のようになる。

$$y = x^2 + 3x + 2 \xrightarrow[\text{(\textit{x}軸方向に4移動)}]{x \text{ を } x-4 \text{ に代える}} y = (x-4)^2 + 3(x-4) + 2 \quad (\Leftrightarrow y = x^2 - 5x + 6)$$

$$\xrightarrow[\text{(\textit{y}軸方向に-1移動)}]{y \text{ を } y+1 \text{ に代える}} y+1 = (x-4)^2 + 3(x-4) + 2 \quad (\Leftrightarrow y = x^2 - 5x + 5)$$

【例題 69】 放物線  $y = 2x^2 - 8x + 9$  を  $C$  とする。

$C$  を  $x$  軸方向に 1 移動した放物線  $C_1$  の方程式は  $\boxed{\text{ア}}$  であり、さらに、 $C_1$  を  $y$  軸方向に  $-4$  に移動した放物線  $C_2$  の方程式は  $\boxed{\text{イ}}$  である。 $C$  の頂点は  $\boxed{\text{ウ}}$ 、 $C_2$  の頂点は  $\boxed{\text{エ}}$  であり、たしかに、 $\boxed{\text{ウ}}$  の  $x$  座標に  $+1$ 、 $y$  座標に  $-4$  すると  $\boxed{\text{エ}}$  になる。

— グラフの平行移動と方程式 —

- 「 $x$  軸方向に  $p$  平行移動する」には、方程式の  $x$  を  $x - p$  に代えればよい。
- 「 $y$  軸方向に  $q$  平行移動する」には、方程式の  $y$  を  $y - q$  に代えればよい。


一般のグラフの平行移動については、「一般の平行移動について (p.143)」を参照のこと。

【練習 70 : 平行移動・対称移動と 2 次関数の決定】

2 次関数  $y = \frac{1}{2}x^2 + 2x - 4$  のグラフを  $C$  とする.

(1)  $C$  を  $y$  軸について対称移動し,  $y$  軸方向に 2 平行移動したグラフ  $C_1$  の式を求めよ.

(2) ㊦㊧ グラフ  $C_2$  を  $x$  軸について対称移動し,  $x$  軸方向に 2 平行移動したら  $C$  と一致した.  $C_2$  の式を求めよ.

 頂点の移動に着目して, 放物線の移動を考えることもできる. くわしくは「頂点の移動を用いて 2 次関数の移動を考える (p.143)」を参照のこと.

## 4. 2次関数の最大・最小

### A. 2次関数の最大・最小

たとえば、2次関数  $f(x) = x^2 - 4x + 5$  の最大値・最小値を考えよう。

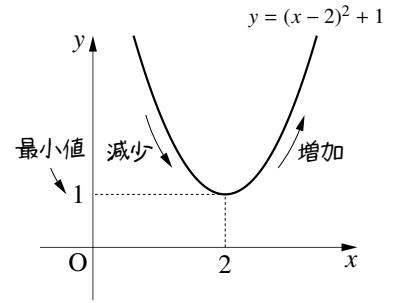
$y = f(x)$  とおけば、 $f(x)$  の最大値・最小値は  $y$  の最大値・最小値に等しい。 $y = f(x)$  のグラフを書けば

$$y = x^2 - 4x + 5 = (x - 2)^2 + 1$$

より右図のようになる。

グラフ上で最も  $y$  座標が小さいのは、 $x = 2$  における  $1$  である。また、 $y$  の値はいくらでも大きくなるので、 $y$  の最大値は存在しない。

こうして、 $f(x)$  は「最小値  $f(2) = 1$ 、最大値なし」とわかる。



【例題 71】  $f(x) = x^2 - 6x + 5$  について、 $y = f(x)$  のグラフを書き、最大値・最小値を答えよ。

### B. 定義域が限定された2次関数の最大・最小

定義域をすべての実数にすれば、2次関数には最大値が最小値のどちらかが存在しない。しかし、定義域が限定された場合は、そうとは限らない。

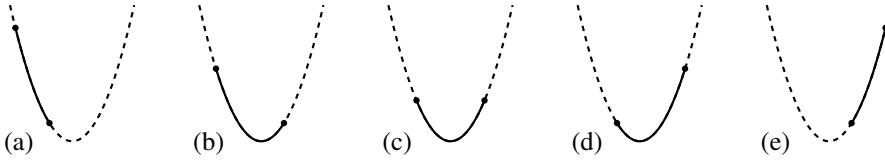
【例題 72】  $f(x) = -x^2 - x - 2$  ( $-1 \leq x \leq 2$ ) について、定義域内の  $y = f(x)$  のグラフを書き、 $f(x)$  の最大値・最小値をそれぞれ求めよ。

【練習 73 : 2 次関数の最大・最小～その 1～】

2 次関数  $f(x) = x^2 - 2x - 2$  を、次の定義域において考える.

- (1)  $-2 \leq x \leq 0$       (2)  $-1 \leq x \leq 2$       (3)  $0 \leq x \leq 2$       (4)  $0 \leq x \leq 3$       (5)  $3 \leq x \leq 4$

それぞれについて、(i)  $y = f(x)$  のグラフを描き、(ii) グラフの形を下の (a)-(e) から 1 つ選び、(iii)  $f(x)$  の最大値・最小値をそれぞれ求めよ.



【練習 74 : 2 次関数の最大・最小～その 2～】

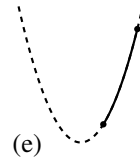
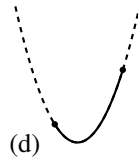
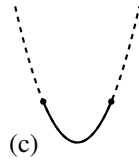
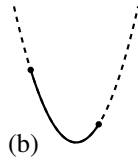
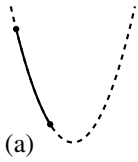
(1)～(3) の 2 次関数は、定義域が  $-1 \leq x \leq 2$  とする.

(1)  $f(x) = x^2 + 4x - 3$

(2)  $f(x) = \frac{1}{2}x^2 - x - 3$

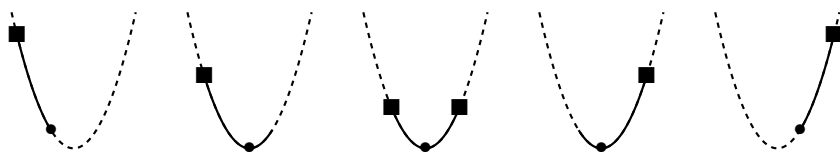
(3)  $f(x) = -3x^2 + 12x - 5$

それぞれについて、(i)  $y = f(x)$  のグラフを描き、(ii) グラフの形を下の (a)-(e) から 1 つ選び (上に凸なグラフは、上下に反転したものを考えること)、(iii)  $f(x)$  の最大値・最小値をそれぞれ求めよ.



### C. 文字定数を含む 2 次関数の最大・最小

定義域が限定された放物線は、最大値・最小値を与えるグラフ上の点に着目すれば、結局次の 5 種類である (y 座標が最大になる点を■, 最小になる点を●で表している).



#### 【練習 75 : 文字定数を含む 2 次関数の形の判別】

放物線  $C: y = x^2 - 4ax + a^2$  ( $-5 \leq x \leq 5$ ) について以下の間に答えよ.

- (1) この放物線の軸の方程式を,  $a$  を用いて表せ.
- (2)  $a = 2$  のとき,  $y$  が最大・最小となるときの  $x$  の値を, それぞれ求めよ.
- (3)  $a = -1$  のとき,  $y$  が最大・最小となるときの  $x$  の値を, それぞれ求めよ.
- (4)  $C$  の軸が定義域より左側にあるための,  $a$  の範囲を求めよ. また, 定義域内における  $C$  の  $y$  座標の最大値, 最小値を求めよ.
- (5)  $C$  の軸が定義域より右側にあるための,  $a$  の範囲を求めよ. また, 定義域内における  $C$  の  $y$  座標の最大値, 最小値を求めよ.
- (6)  $C$  の軸が定義域の中にあるための,  $a$  の範囲を求めよ.
- (7) (6) のうち, 定義域の左端で  $C$  の  $y$  座標が最大となるような  $a$  の範囲を求め, このときの  $C$  の  $y$  座標の最大値, 最小値を求めよ.



上の問題において、 $a = 0$  のときは定義域の両端で最大値をとる。

**【練習 76 : 2 次関数の最大・最小（文字定数を含む場合）～その 1～】**

以下の場合における，2 次関数  $f(x) = x^2 - 2ax$  ( $-1 \leq x \leq 1$ ) の最大値・最小値を求めよ。

(1)  $a \leq -1$

(2)  $1 \leq a$

(3)  $-1 < a < 0$

【**発展** 77 : 2次関数の最大・最小 (文字定数を含む場合) ~その2~】

2次関数  $f(x) = -2x^2 + 4x - 3$  ( $a \leq x \leq a + 2$ ) について、以下の問いに答えよ。

- ①  $f(x)$  の最大値・最小値を求めよ。      ②  $f(x)$  の最大値が  $-3$  となるときの  $a$  の値を求めよ。



【発展 78 : 2 次関数の最大・最小 (文字定数を含む場合) ~その3~】

$a > 0$  とする. 2 次関数  $f(x) = x^2 - 4x + 5$  ( $0 \leq x \leq a$ ) について以下の問に答えよ.

① 最小値を求めよ.

② 最大値を求めよ.



$a$  の値を 0 から増やしていくとき, グラフの最大値・最小値をとる点がいつ変わるのかグラフを描いて考えて, 場合分けをしよう.

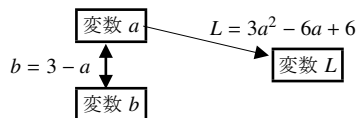
## 5. 2次関数の応用問題

### A. $x$ や $y$ 以外の文字を用いて関数を表現する

$a + b = 3$  のとき、式  $L = 2a^2 + b^2 - 3$  のとる値について考えてみよう。

この  $L$  の値は  $a$  のみによって決まる。実際、 $b = 3 - a$  を  $L$  に代入すれば

$$\begin{aligned} L &= 2a^2 + (3 - a)^2 - 3 = 3a^2 - 6a + 6 \\ &= 3(a - 1)^2 + 3 \quad \leftarrow \text{平方完成した} \end{aligned}$$

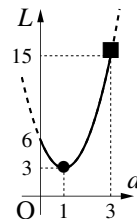


となつて、 $L$  は  $a$  のみで決まることが分かる。そのうえ、平方完成の結果、最大値は無し、最小値は  $a = 1$  のときの  $L = 3$  と分かる。このとき、 $b = 2$  である。

さらに、 $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$  に限れば、 $b = 3 - a$  を  $0 \leq b$  に代入して

$$0 \leq b \Leftrightarrow 0 \leq 3 - a \Leftrightarrow a \leq 3$$

から、 $0 \leq a \leq 3$  と分かるので、右上のグラフから、 $L$  の最大値は  $a = 3$  のときの  $L = 15$  と分かる。このとき、 $b = 0$  である。



☞  $a = 3 - b$  によって  $a$  を消去して考えても、 $L$  の最大・最小について同じ結果を得る。

**【例題 79】** 実数  $p, q$  に対して、 $L = p^2 - q^2$  とする。

- $p + 2q = 9$  であるとき、 $L$  の最大値・最小値と、そのときの  $p, q$  の値を求めよ。
1. に加えて  $0 \leq p, 0 \leq q$  であるとき、 $L$  の最大値・最小値と、そのときの  $p, q$  の値を求めよ。

## B. 2次関数の最大・最小の応用

2次関数の知識を利用して、身近にある様々な問題を解くことができる。

### 【練習 80 : 2次関数の身近な例への応用】

- (1) 長さ 20 cm の針金を 2 つに切り、それぞれの針金で正方形を作るとき、それらの面積の和の最小値を求めよ。また、そのとき針金は何 cm ずつに切り分けられているか求めよ。
- (2) ある品物の売価が 1 個 120 円するときには、1 日の売上個数は 400 個であり、売価を 1 個につき 1 円値上げするごとに、1 日の売上個数は 2 個ずつ減るといふ。1 日の売上金額を最大にするには、売価をいくりに設定すればよいか求めよ。

【練習 81 : 1 つの文字に帰着できる 2 次関数】

$0 \leq x, 0 \leq y, 2x + y = 10$  のとき,  $L = x^2 + y^2 - 3$  の最大値・最小値を求めよ. また, そのときの  $x, y$  を求めよ.

C. 式の一部を置き換える

【発展 82 : 式の一部を文字でおく】

- ①  $t = x^2 - 2x$  について,  $t$  の値のとりうる範囲を求めよ.
- ② 関数  $y = (x^2 - 2x)^2 + 4x^2 - 8x + 5$  について,  $y$  の値のとりうる範囲を求めよ.

【発展 83 : 2文字2次式の最大・最小】

$x$  の2次関数  $y = 2x^2 + 4kx + k^2 + 4k - 2$  について、 $y$  の最小値  $m$  を  $k$  を用いて表せ。さらに、 $m$  の最大値とそのときの  $k$  の値を求めよ。

【発展 84 : 2次関数の利用】

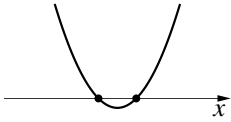
3辺が 3 cm, 4 cm, 5 cm の直角三角形の紙から、はさみを使って鋭角を切り落とし、面積が最大の長方形を作るにはどのようにすればよいか。

## 6. 放物線と $x$ 軸の位置関係 — 判別式 $D$

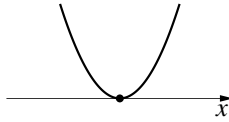
### A. 放物線と $x$ 軸の共有点

放物線と  $x$  軸の共有点は、最大で 2 個になる。たとえば、下に凸な放物線ならば以下のようなになる。

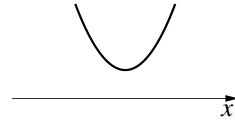
i)  $x$  軸と 2 つの共有点をもつ



ii)  $x$  軸と 1 つの共有点をもつ



iii)  $x$  軸と共有点をもたない



放物線が上に凸の場合も、上下が逆になる以外は同様の結果になる。

【例題 85】 次の 2 次関数のグラフと  $x$  軸の共有点の個数を、それぞれ答えよ。

1.  $y = (x - 1)^2 - 5$

2.  $y = -(x - 3)^2 - 2$

3.  $y = 2x^2 + 8x + 1$

### B. 放物線の判別式 $D$

放物線と  $x$  軸の共有点の個数は、放物線の頂点の  $y$  座標が正であるか、0 であるか、負であるかによって決定される。一般の放物線  $y = ax^2 + bx + c$  ( $a \neq 0$ ) の平方完成は

$$y = ax^2 + bx + c = a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a}$$

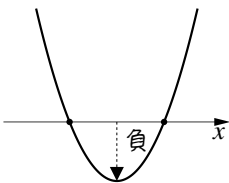
となり、頂点の  $y$  座標は、 $-\frac{b^2 - 4ac}{4a}$  である (p.89)。よって、 $a > 0$  の場合は次のようになる。

$a > 0$  の場合

i)  $b^2 - 4ac > 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{(\text{正})}{(\text{正})}$$

より、頂点の  $y$  座標は負。

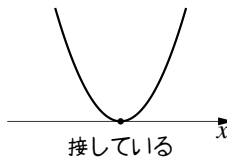


$x$  軸との共有点は 2 つ

ii)  $b^2 - 4ac = 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{0}{(\text{正})}$$

より、頂点の  $y$  座標は 0。

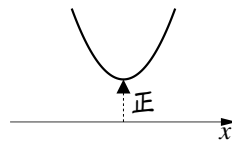


$x$  軸との共有点は 1 つ  
放物線の頂点が共有点

iii)  $b^2 - 4ac < 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{(\text{負})}{(\text{正})}$$

より、頂点の  $y$  座標は正。



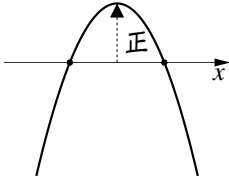
$x$  軸との共有点はない

【例題 86】  $a < 0$  とする. 以下の  に「正」「負」「0」「1」「2」のいずれかを入れよ.

i)  $b^2 - 4ac > 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{\boxed{\text{ア}}}{\boxed{\text{イ}}}$$

より, 頂点の  $y$  座標は .

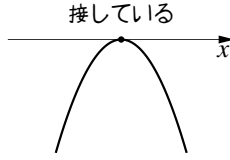


$x$  軸との共有点は  個

ii)  $b^2 - 4ac = 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{\boxed{\text{オ}}}{\boxed{\text{カ}}}$$

より, 頂点の  $y$  座標は .

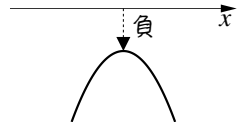


$x$  軸との共有点は  個

iii)  $b^2 - 4ac < 0$  のとき

$$-\frac{b^2 - 4ac}{4a} = -\frac{\boxed{\text{ケ}}}{\boxed{\text{コ}}}$$

より, 頂点の  $y$  座標は .



$x$  軸との共有点は  個

### 放物線の判別式 $D$

放物線  $y = f(x) = ax^2 + bx + c$  と  $x$  軸の共有点の個数は, 判別式  $D = b^2 - 4ac$  を用いて判別できる.

i)  $D > 0$  のとき

放物線  $y = f(x)$  は  $x$  軸と「2つの共有点をもつ」

ii)  $D = 0$  のとき

放物線  $y = f(x)$  は  $x$  軸と「1つの共有点を持ち」, 「 $x$  軸と接する (contact)」.

ただ 1 つの共有点  $(-\frac{b}{2a}, 0)$  は接点 (point of contact) とよばれ, 放物線の頂点に一致する.

iii)  $D < 0$  のとき

放物線  $y = f(x)$  は  $x$  軸と「共有点をもたない」



「 $x$  軸との共有点の個数を判別する」2 次関数の判別式  $D$  と, 「実数解の個数を判別する」2 次方程式の判別式  $D$  (p.65) の関係については p.115 で学ぶ.

【例題 87】 以下の  に適当な数値を入れよ.

1. 放物線  $y = 2x^2 + 5x - 1$  は, 判別式  $D$  の値が  なので,  $x$  軸との共有点は  個である.

2. 放物線  $y = \frac{1}{2}x^2 - 4x + 8$  は, 判別式  $D$  の値が  なので,  $x$  軸との共有点は  個である.

3. 放物線  $y = \frac{2}{3}x^2 + 3x + 5$  は, 判別式  $D$  の値が  なので,  $x$  軸との共有点は  個である.

【練習 88 : 放物線と  $x$  軸との共有点の個数の判別】

2 次関数  $y = x^2 - (k-1)x + \frac{1}{4}k^2 + k + 1$  のグラフ  $C$  について、以下の問いに答えよ。

- (1)  $k = -4$  のとき、放物線  $C$  と  $x$  軸との共有点の個数はいくつあるか。
- (2)  $k = 2$  のとき、放物線  $C$  と  $x$  軸との共有点の個数はいくつあるか。
- (3)  $C$  と  $x$  軸との共有点の個数が 2 個、1 個、0 個であるための、定数  $k$  の条件をそれぞれ答えよ。



1. 2次方程式の判別式  $D$  と2次関数の判別式  $D$  を同一視する

A. 放物線と  $x$  軸の共有点

2次関数  $f(x) = ax^2 + bx + c$  において、判別式  $D = b^2 - 4ac$  が0以上であれば、放物線  $y = f(x)$  が  $x$  軸と共有点をもつ(p.113). このとき、「共有点の  $x$  座標」を求めてみよう.

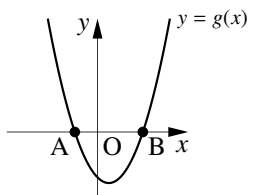
【暗記 89 : 2次関数と  $x$  軸の共有点の座標~その1~】

以下の  にあてはまる数値・式・言葉を答えよ.

1. 2次関数  $y = x^2 - x - 2$  のグラフにおいて、 $y$  座標が0になる点を求めるには、2次方程式

= 0

を解けばよい. その結果、 $A(\text{イ}, 0)$ ,  $B(\text{ウ}, 0)$  と分かる.



2. 2次関数  $y = x^2 - 2x - 4$  のグラフと  軸の共有点を求めるには、2次方程式

$x^2 - 2x - 4 = 0$

を解けばよい. その結果、 $(\text{オ}, \text{カ})$ ,  $(\text{キ}, \text{ク})$  と分かる.

3. 2次関数  $y = x^2 - 2x + 4$  のグラフにおいて  $y$  座標が0になる点を求めるには

= 0 ..... ①

という2次方程式を解けばよい. この2次方程式の判別式  $D$  を計算すると0より  ため、①は解を持たない. つまり、2次関数  $y = x^2 - 2x + 4$  のグラフは  $y$  座標が0になることはない.

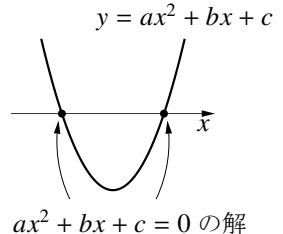
放物線と  $x$  軸との共有点

判別式  $D$  が0以上である2次関数

$y = ax^2 + bx + c$

のグラフと  $x$  軸 ( $y = 0$ ) との共有点の  $x$  座標は、次の2次方程式の解である.

$ax^2 + bx + c = 0$



【練習 90 : 放物線と  $x$  軸との共有点を調べる】

次の放物線と  $x$  軸との共有点があるならば, その共有点の座標を求めよ.

(1)  $y = x^2 - x - 1$

(2)  $y = -4x^2 + 4x - 1$

(3)  $y = x^2 - x + 1$

【練習 91 :  $x$  軸と接するための条件】

放物線  $y = 4x^2 + 2(k - 1)x - k + 4$  が  $x$  軸と接するよう定数  $k$  の値を定めよ. また, そのときの接点を求めよ.

## B. 2次方程式の解をグラフで表す

p.115の「放物線とx軸との共有点」を逆に考えれば、次のことがわかる。

### 2次方程式の解をグラフに表す

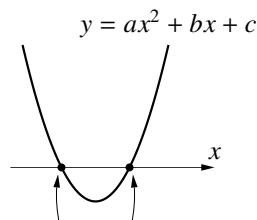
判別式  $D$  が 0 以上である 2 次方程式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

の解は、2 次関数

$$y = ax^2 + bx + c$$

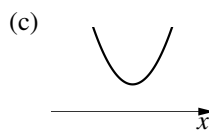
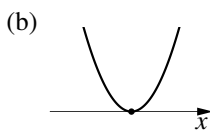
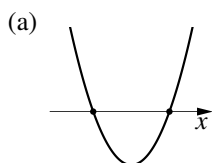
のグラフと  $x$  軸との「共有点の  $x$  座標」に表れる。



$ax^2 + bx + c = 0$  の解

### 【暗記 92 : 2次方程式の解をグラフで表す】

次の空欄に適切な数字または文字を入れよ。



1. 2 次方程式  $x^2 - 4x - 5 = 0$  の解は

2 次関数 ア

..... ①

と  $x$  軸との「共有点の  $x$  座標」に一致し、イ、ウ である。

また、2 次関数①のグラフは、上の (a), (b), (c) のうち、エ に一番近い。

2. 2 次方程式  $9x^2 - 6x + 1 = 0$  の解は

2 次関数 オ

..... ②

と  $x$  軸との「共有点の  $x$  座標」に一致し、カ である。

また、2 次関数②のグラフは、上の (a), (b), (c) のうち、キ に一番近い。

3. 2 次方程式  $x^2 - 4x + 5 = 0$  の解は

2 次関数 ク

..... ③

と  $x$  軸との「共有点の  $x$  座標」に一致するが、これは存在しない。

2 次関数③のグラフは、上の (a), (b), (c) のうち、ケ に一番近い。

### C. 判別式 $D$

2次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  においても, 2次関数  $y = ax^2 + bx + c$  においても, 判別式  $D$  は同一の式

$$D = b^2 - 4ac$$

で定義され, 以下のことが成り立つ.

「2次方程式の解」と「放物線と  $x$  軸との共有点の  $x$  座標」の対応

$a \neq 0$  である2次式  $ax^2 + bx + c$  に対し

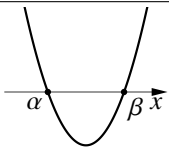
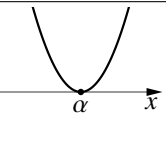
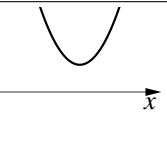
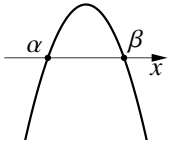
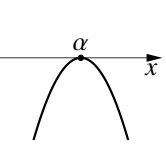
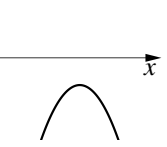
- 放物線  $y = ax^2 + bx + c$  と  $x$  軸の共有点の個数
- 方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解の個数

は一致し, 判別式  $D = b^2 - 4ac$  に対して

$D > 0$  ならば2個,  $D = 0$  ならば1個\*<sup>13</sup>,  $D < 0$  ならば0個

である. また,  $D \geq 0$  ならば次も一致する.

- 放物線  $y = ax^2 + bx + c$  と  $x$  軸との共有点の  $x$  座標
- 方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の解の値

判別式 $D$ の符号	$D > 0$	$D = 0$	$D < 0$
$y = ax^2 + bx + c$ のグラフ ( $a > 0$ のとき)			
$y = ax^2 + bx + c$ のグラフ ( $a < 0$ のとき)			
$ax^2 + bx + c = 0$ の解	2解 $\alpha, \beta$	重解 $\alpha$	なし

【例題 93】 以下の  に当てはまる語句・式・値を答えよ.

• 2次方程式  $ax^2 + bx + c = 0$  の判別式  $D$  は  を判別する式である.

• 放物線  $y = ax^2 + bx + c$  の判別式  $D$  は  を判別する式である.

• これら2つの判別式は一致する. なぜなら,  を判別するには,  $y = ax^2 + bx + c$  の  に  を代入して得られる方程式  を解くからである.

\*<sup>13</sup> ここでは重解を「1個」と数えている. 一般的には, 重複度を込めて「2個」と数えることが多い.

§2.6 で学ぶ 2 次不等式において、前ページの内容は必要不可欠になる。

## 2. 2 次方程式・2 次関数の応用

### A. 放物線と直線・放物線の共有点

放物線と直線・放物線の共有点についても、p.76 のときと同じことが成り立つ。

つまり、グラフの共有点の座標と連立方程式の解は一致する。

連立方程式の解が無い場合は、グラフの共有点も無い。解の個数も、解の数値も、「グラフの共有点の座標と連立方程式の解は一致する」。

たとえば、放物線  $y = x^2 - 4x + 5$  と直線  $y = 2x - 3$  の共有点の座標  $(x, y)$  は

$$y = x^2 - 4x + 5 \quad \dots\dots ①$$

$$y = 2x - 3 \quad \dots\dots ②$$

を同時に満たす  $(x, y)$  と等しい。つまり、連立方程式①、②を解けばよい。①を式②の左辺に代入して解けば

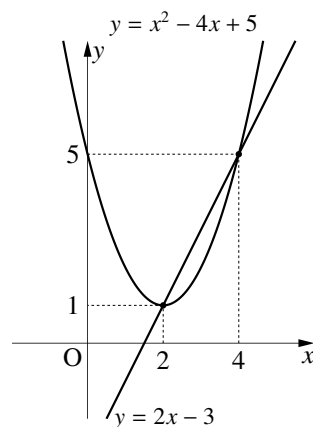
$$x^2 - 4x + 5 = 2x - 3$$

$$\Leftrightarrow x^2 - 6x + 8 = 0 \quad \therefore x = 2, 4$$

となる。そこで、②に代入して  $y$  を求めれば

$$x = 2 \text{ のとき } y = 1, \quad x = 4 \text{ のとき } ② \text{ より } y = 5$$

であるので、共有点の座標は  $(2, 1)$ ,  $(4, 5)$  とわかる。



**【例題 94】** 放物線  $C: y = x^2 - 2x + 3$  と直線  $L: y = -x + 5$  との共有点を求め、 $C$  と  $L$  のグラフを描け。

【練習 95 : 放物線と直線・放物線の共有点】

放物線  $C : y = x^2 - 2x + 3$  について

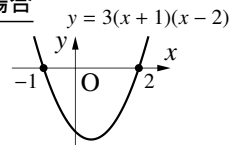
- (1) 放物線  $C_1 : y = -x^2 - x + 6$  との共有点を求め、 $C$  と  $C_1$  のグラフを描け.
- (2) 直線  $L : y = -2x - k$  との共有点が 1 つであるように、 $k$  の値を定めよ.  
また、そのときの  $C$  と  $L$  のグラフを描け.



放物線と直線・放物線の共有点が 1 点のときも、その 2 つのグラフは「接している」といい、その共有点をやはり「接点」という。たとえば、(2) において、直線  $L$  と放物線  $C$  は接していて、その接点は  $(0, 3)$  である。

**B. 2次関数・因数分解型  $y = a(x - \alpha)(x - \beta)$  の決定～ $x$ 軸との共有点が与えられた場合**

たとえば、2次関数  $y = 3(x + 1)(x - 2)$  と  $x$  軸の共有点を考えよう。これは2次方程式  $3(x + 1)(x - 2) = 0$  の2解であり、ただちに  $x = -1, 2$  を得て、右図のようなグラフを描くことができる。



【例題 96】 次の2次関数と  $x$  軸の共有点を求めよ。

1.  $y = (x + 2)(x - 3)$

2.  $y = 2(x - 1)(x + 3)$

3.  $y = -3(x - 4)(x + 1)$

上の事実を逆に応用して、『2次関数の決定』(p.92)をすることができる。

【例題 97】 放物線  $C$  と  $x$  軸との共有点の  $x$  座標が 1, 3 であったならば、 $C$  の方程式は

$$y = a(x - \text{ア})(x - \text{イ})$$

と書ける。もし、 $C$  が  $(2, -2)$  を通るならば、 $C$  の方程式は  $\text{ウ}$  である。

【練習 98 : 2次関数の決定 ( $x$  軸との共有点の座標が与えられた場合)】

$x$  軸と  $(-1, 0)$ ,  $(2, 0)$  で交わり、点  $(1, 2)$  を通る放物線の方程式を求めよ。

## 2.6 2次不等式と2次関数

この節では、2次式で表された不等式「2次不等式」について学ぶ。p.77で学んだように、1次不等式は1次関数と1次方程式と深い関係があった。  
2次不等式の場合は、むしろ、2次関数と2次方程式を用いて解くことになる。

### 1. 2次不等式の解法の基礎

2次式を含む不等式を**2次不等式** (quadratic inequality) といい、不等式を満たす  $x$  の値の範囲をその不等式の解、解を求めることを不等式を解くという。たとえば、2次不等式

$$x^2 - 5x + 4 < 0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

を満たす  $x$  の値について考えてみると、 $x = 2, 3$  は $\textcircled{1}$ を満たすので解であり、 $x = 0, 5$  は解ではない。

#### A. 2次不等式の解法の基本

2次不等式を解くには、次のように考えるのが最もよい。

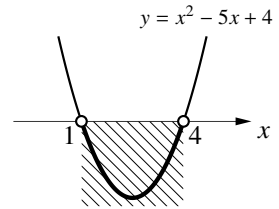
「2次不等式  $x^2 - 5x + 4 < 0$  を解け」

↔  $y = x^2 - 5x + 4$  とおいたとき、 $y < 0$  であるような  $x$  の範囲を求めよ

↔ 「2次関数  $y = x^2 - 5x + 4$  のグラフにおいて、  
y座標が0より小さいときのx座標の範囲を求めよ」

こうして、2次不等式を解くことを、2次関数と2次方程式の問題として考えることができる。 $\textcircled{1}$ の場合

$$x^2 - 5x + 4 < 0 \quad \Leftrightarrow \quad \underbrace{(x-1)(x-4)}_{y \text{ とおく}} < 0 \leftarrow \text{因数分解した}$$

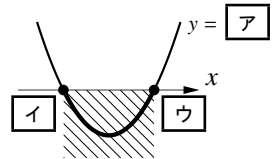


であるので、この左辺を  $y$  とおいた、2次関数  $y = (x-1)(x-4)$  のグラフを描けば右上図のようになる。  
 $y < 0$  となる  $x$  の範囲は  $1 < x < 4$  であるので、 $\textcircled{1}$ の解は  $1 < x < 4$  となる。

【例題 99】 2次不等式  $x^2 - 6x + 8 \leq 0$  を解こう。

1. 左辺を因数分解すると  $\boxed{\text{ア}} \leq 0$  となるので、 $y = \boxed{\text{ア}}$  のグラフは右欄外のようになる。

2.  $y \leq 0$  となる  $x$  の範囲が解なので、 $\boxed{\text{エ}}$  が解になる。



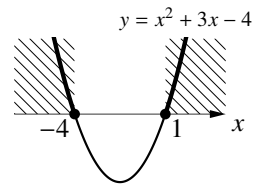
⋮ 2次不等式を解くためには、2次関数の頂点を求める必要がない。x軸との共有点の座標さえ求めれば十分である。



2次不等式  $x^2 + 3x - 4 \geq 0$  の場合は

$$x^2 + 3x - 4 \geq 0$$

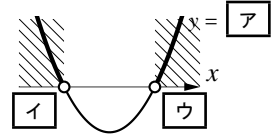
$$\Leftrightarrow \underbrace{(x+4)(x-1)}_{y \text{ とおく}} \geq 0 \quad \leftarrow \text{因数分解した}$$



であるので、この左辺を  $y$  とおいた、2次関数  $y = (x+4)(x-1)$  のグラフを描けば右上図のようになる。  
 $y \geq 0$  となる  $x$  の範囲は  $x \leq -4, 1 \leq x$  であるので、 $x^2 + 3x - 4 \geq 0$  の解は  $x \leq -4, 1 \leq x$  となる。

【例題 100】 2次不等式  $x^2 - x - 6 > 0$  を解こう。

1. 左辺を因数分解すると  $\boxed{\text{ア}} > 0$  となるので、 $y = \boxed{\text{ア}}$  のグラフは右欄外のようになる。
2.  $y > 0$  となる  $x$  の範囲が解なので、 $\boxed{\text{エ}}$  が解になる。



【例題 101】

1. 2次関数  $y = x^2 - 2x - 3$  のグラフと  $x$  軸との共有点があれば求めよ。
2. 次の2次不等式を解け。
  - i)  $x^2 - 2x - 3 > 0$
  - ii)  $x^2 - 2x - 3 \geq 0$
  - iii)  $x^2 - 2x - 3 < 0$
  - iv)  $x^2 - 2x - 3 \leq 0$

【練習 102 : 2 次不等式～その 1～】

次の 2 次不等式を解け.

(1)  $(x-3)(x+2) \leq 0$

(2)  $x^2 - 6x + 8 < 0$

(3)  $x^2 + 3x + 2 \geq 0$

(4)  $2x^2 + 3x - 2 > 0$

(5)  $x^2 - 16 < 0$

(6)  $-x^2 - 2x + 8 \geq 0$

(7)  $-2x^2 + 3x - 1 < 0$

(8)  $1 - x^2 > 0$



$x^2$  の係数が負の場合は両辺を  $(-1)$  倍して、 $x^2$  の係数を正にすれば、下に凸なグラフだけを考えればよい、

## B. 解の公式が必要な 2 次不等式

2 次式を有理数の範囲で因数分解できないときは、解の公式を用いばよい (p.63).

### 【例題 103】

1. 2 次関数  $y = x^2 - 2x - 1$  のグラフと  $x$  軸との共有点の座標を求めなさい.
2. 2 次不等式  $x^2 - 2x - 1 < 0$  を解け.

### 【練習 104 : 2 次不等式～その 2～】

次の 2 次不等式を解け.

(1)  $x^2 - x - 5 \leq 0$

(2)  $x^2 - 4x + 1 < 0$

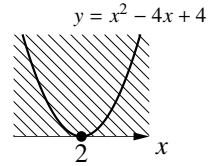
(3)  $2x^2 - 3x - 4 \geq 0$

(4)  $x^2 - 13 > 0$

### C. 判別式 $D = 0$ の場合の 2 次不等式

2 次不等式  $x^2 - 4x + 4 \geq 0$  の場合は

$$x^2 - 4x + 4 \geq 0 \quad \Leftrightarrow \underbrace{(x-2)^2}_{y \text{ とおく}} \geq 0 \leftarrow \text{因数分解した}$$



であるので、この左辺を  $y$  とおいた、2 次関数  $y = (x-2)^2$  のグラフを描けば右上図のようになる。  $y \geq 0$  となる  $x$  の範囲はすべての実数であるので、  $x^2 - 4x + 4 \geq 0$  の解は「すべての実数」となる。

#### 【例題 105】

1. 2 次関数  $y = 4x^2 - 4x + 1$  のグラフと  $x$  軸との共有点があれば求めよ。

2. 次の 2 次不等式を解け。

i)  $4x^2 - 4x + 1 > 0$

ii)  $4x^2 - 4x + 1 \geq 0$

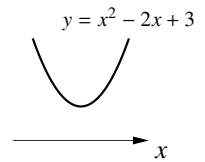
iii)  $4x^2 - 4x + 1 < 0$

iv)  $4x^2 - 4x + 1 \leq 0$

#### D. 判別式 $D < 0$ の場合の 2 次不等式

2 次不等式  $x^2 - 2x + 3 < 0$  の場合, 左辺を因数分解できない. そこで,  $x^2 - 2x + 3 = 0$  を解の公式を用いて解くと,  $x = \frac{2 \pm \sqrt{(-2)^2 - 4 \cdot 3}}{2} = 1 \pm \sqrt{-2}$  となる.

つまり,  $x^2 - 2x + 3 < 0$  の左辺を  $y$  とおいた, 2 次関数  $y = x^2 - 2x + 3$  のグラフは右上図のようになる.  $y < 0$  となる  $x$  の範囲はないので,  $x^2 - 2x + 3 < 0$  の解は「解なし」となる.



逆に, 2 次不等式  $x^2 - 2x + 3 > 0$  の解は「すべての実数」となる. 必ず, グラフを描いて考える癖をつけよう.

#### 【例題 106】

- 2 次関数  $y = x^2 - 4x + 5$  のグラフと  $x$  軸との共有点があれば求めよ.
- 次の 2 次不等式を解け.

i)  $x^2 - 4x + 5 > 0$       ii)  $x^2 - 4x + 5 \geq 0$       iii)  $x^2 - 4x + 5 < 0$       iv)  $x^2 - 4x + 5 \leq 0$

不等式  $x^2 - 2x + 3 < 0$  が解なしであることは,  $x^2 - 2x + 3 = (x - 1)^2 + 2$  と変形して,  $(x - 1)^2$  が非負であることから理解できる.

## E. 2次不等式の解法まとめ

結局、2次不等式を解くには、次の手順を踏めばよい。

- 片方の辺を0にし、他方の $x^2$ の係数を正にする。
- 2次式を因数分解する。整数の範囲で因数分解できない場合は解の公式を用いる (p.64)。ただし、解を持たない場合もある (判別式  $D < 0$  の場合)。
- 簡単なグラフを書き、適する範囲を答える。

### 2次不等式の解

$a > 0$  の場合の、2次不等式の解はつぎのようにまとめることができる。

	$y = ax^2 + bx + c$ のグラフ	$ax^2 + bx + c = 0$ の解	$ax^2 + bx + c > 0$ の解	$ax^2 + bx + c \geq 0$ の解	$ax^2 + bx + c < 0$ の解	$ax^2 + bx + c \leq 0$ の解
$D > 0$						
		2 解 $\alpha, \beta$	$x < \alpha, \beta < x$	$x \leq \alpha, \beta \leq x$	$\alpha < x < \beta$	$\alpha \leq x \leq \beta$
$D = 0$						
		重解 $\alpha$	$\alpha$ 以外の実数	すべての実数	なし	$x = \alpha$
$D < 0$						
		解なし	すべての実数	すべての実数	なし	なし

この結果を暗記する必要はない。結果を確認できればよい。

### 【練習 107 : 2次不等式～その3～】

次の2次不等式を解け。

- (1)  $x^2 - 2x - 1 < 0$       (2)  $-2x^2 - x - 6 \geq 0$       (3)  $x^2 - 2x + 1 \geq 0$       (4)  $x^2 < 8$   
 (5)  $x^2 \geq 2x$       (6)  $-2x^2 - 4 > 0$       (7)  $\frac{1}{3}x^2 + x + \frac{2}{3} \geq 0$       (8)  $x^2 - x - 6 \geq 2x - 4$   
 (9)  $-x^2 - x - 9 < x - 3$       (10)  $\frac{1}{2}x^2 - x - \frac{5}{3} \geq \frac{2}{3}x^2 + \frac{1}{3}x + 1$



## F. 連立 2 次不等式

連立 2 次不等式を解くときも，連立 1 次不等式 (p.56) の場合と同じように，数直線を必ず描こう。

### 【練習 108 : 連立 2 次不等式】

次の不等式を解け。

$$(1) \begin{cases} x^2 - 5x - 14 \geq 0 & \dots\dots\dots \textcircled{1} \\ 2x^2 - 11x - 40 < 0 & \dots\dots\dots \textcircled{2} \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} 25 - 9x^2 > 0 & \dots\dots\dots \textcircled{3} \\ 3x^2 + 4x - 6 < 0 & \dots\dots\dots \textcircled{4} \end{cases}$$



## 2. 2次関数・2次方程式・2次不等式の応用問題

### A. 範囲に注意すべき2次関数の最大・最小

【練習 109 : 範囲に注意すべき2次関数の最大・最小】

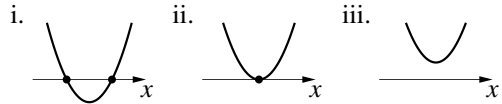
$x^2 + y^2 = 1$  のとき,  $L = x + y^2 - 1$  の最大値・最小値, そのときの  $x, y$  を求めよ.

☞  $x^2 + y^2$  を含む条件式があるときは,  $0 \leq x^2, 0 \leq y^2$  に注意しよう.

## B. 2次不等式の解からグラフを考える

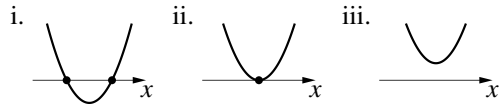
【例題 110】 2次不等式  $x^2 - kx + 1 > 0$  の解が「すべての実数」であったという。

1. 左辺を  $y$  とおいた2次関数  $y = x^2 - kx + 1$  のグラフは、右のうちどれになるか。
2. 条件を満たす  $k$  の範囲を答えよ。



【例題 111】 2次不等式  $x^2 + ax + b < 0$  の解が  $-2 < x < 1$  であったという。

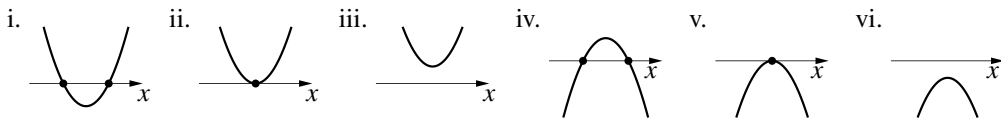
1. 左辺を  $y$  とおいた2次関数  $y = x^2 + ax + b$  のグラフの概形は、右のうちどれになりうるか。
2.  $a, b$  の値を答えよ。



【練習 112 : 2次不等式の解からグラフを考える】

2次不等式  $ax^2 - 2x + a > 0$  の解が「解なし」であったという。

- (1) 左辺を  $y$  とおいた2次関数  $y = ax^2 - 2x + a$  のグラフは、下のうちどれになりうるか。



- (2) 条件を満たす  $a$  の範囲を答えよ。

【練習 113 : 2 次不等式の解】

$2x^2 + kx + 3 > 0$  がすべての実数で成り立つような  $k$  の範囲を求めよ.

【練習 114 : 放物線と  $x$  軸の大小関係】

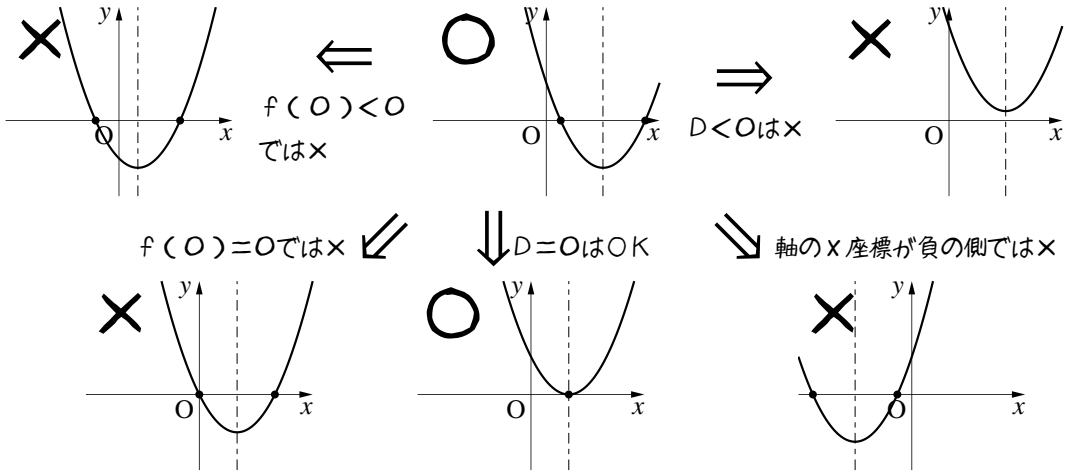
放物線  $y = ax^2 - 2(a + 1)x + 2a + 5$  のグラフについて, 以下の問いに答えよ.

- (1) このグラフが  $x$  軸と共有点をもつように  $a$  の範囲を定めよ.
- (2) このグラフが  $x$  軸よりも下にあり, かつ  $x$  軸と共有点をもたないように  $a$  の範囲を定めよ.
- (3) 2 次不等式  $ax^2 - 2(a + 1)x + 2a + 5 < 0$  の解が存在しないとき,  $a$  の範囲を定めよ.

### C. 2次方程式の解の配置

2次方程式  $x^2 - ax + (a^2 - 3) = 0$  が正の解だけをもつような  $a$  の条件を考えよう。

これは、 $y = f(x) = x^2 - ax + (a^2 - 3)$  と  $x$  軸が、正の部分で交わる条件に一致する。そのようなグラフを描いてみよう。



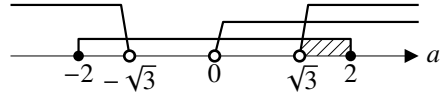
結果的に、次の条件をすべて同時に満たせばよい。

$$D \geq 0, (\text{軸の } x \text{ 座標}) > 0, f(0) > 0$$

それらをそれぞれ解こう。  $f(x) = \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 - \frac{a^2}{4} + a^2 - 3$  から、軸の方程式は  $x = \frac{a}{2}$  であるから

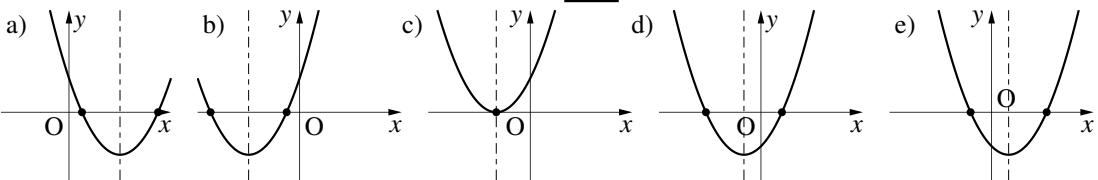
$$\begin{cases} D \geq 0 \\ (\text{軸の } x \text{ 座標}) > 0 \\ f(0) > 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} D = a^2 - 4(a^2 - 3) \geq 0 \\ \frac{a}{2} > 0 \\ f(0) = a^2 - 3 > 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a^2 - 4 \leq 0 \\ a > 0 \\ (a - \sqrt{3})(a + \sqrt{3}) > 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -2 \leq a \leq 2 \\ 0 < a \\ a < -\sqrt{3}, \sqrt{3} < a \end{cases}$$

と分かる。これらを数直線上に表わせば右のようになるので、 $\sqrt{3} < a \leq 2$  が求める条件であると分かる。



… 上のように、2次方程式  $f(x) = 0$  の解の配置を調べる問題では、「判別式  $D$ 」「軸の  $x$  座標」「 $f(a)$  ( $x = a$  を境に解の適・不適が定まる)」の3点を必ず調べよう。ただし、後で見るように、このうち1つまたは2つが不要になることもある。

**【例題 115】**  $f(x) = x^2 + 2ax + a + 2 = 0$  が負の解だけをもつ ( …… ① ) ような  $a$  の条件を求めるため、( ) には「 $<$ 」「 $\leq$ 」「 $>$ 」「 $\geq$ 」のいずれかを、 には記号・条件を入れなさい。



①を満たすときの  $f(x) = 0$  のグラフとして、適しているものを上からすべて選ぶと  になる。

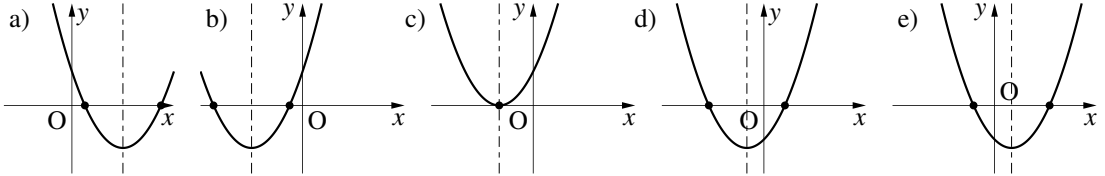
よって、①を満たすには  $D$  ( イ ) 0, (軸の方程式) ( ウ ) 0,  $f(0)$  ( エ ) 0 が成り立てばよい。

これらをすべて計算し連立して解けば、 が求める条件と分かる。

【練習 116 : 2 次方程式の解の配置～その 1～】

$f(x) = 2x^2 + 3ax + a - 3 = 0$  が正の解と負の解を 1 つずつ持つとき, 以下の問いに答えよ.

(1)  $y = f(x)$  のグラフとして適切なものをすべて選べ.



(2) 条件を満たすような  $a$  の範囲を求めよ.

【練習 117 : 2 次方程式の解の配置～その 2～】

$x^2 - 4cx + c^2 + 4c = 0$  が, 2 よりも大きな, 2 つの異なる解をもつような  $c$  の条件を求めよ.

#### D. 放物線と他のグラフの大小関係を調べる

##### 【練習 118 : 2 次関数と直線・放物線の大小関係】

2 次関数  $f(x) = x^2 - 2x + 3$  について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 放物線  $y = f(x)$  と直線  $y = ax - 1$  とが共有点をもつための  $a$  の範囲を求めよ。
- (2) ㊦㊧  $g(x) = bx^2 - x + 2$  とする。  $f(x) > g(x)$  が常に成立するための定数  $b$  の範囲を求めよ。

### 3. 絶対値を含む2次関数・方程式・不等式

場合に分けて絶対値を外して (p.79 参照), 考えていこう.

#### 【練習 119 : 絶対値を含む 2 次関数】

次の式で与えられた関数のグラフを描け.

(1)  $y = 2x - |x^2 - 4|$

(2)  $y = |x^2 - 4x - 6|$



この問の (2) のグラフは,  $y = x^2 - 4x - 6$  のグラフのうち  $x$  軸より下にある部分を  $x$  軸について上側へ折り返したものになっている. これは, 右辺の関数全体に絶対値がついている式の形からも理解できる.

【練習 120 : 絶対値を含む 2 次方程式】

次の方程式を解け.

(1)  $|x^2 - 2x - 8| = 6x + 1$

(2)  $|x^2 - 4x + 3| = 2 - x$



【発展 121 : 絶対値を含む 2 次不等式】

次の不等式を解け.

①  $3x^2 + |x^2 - 9| < 16x$

②  $|x^2 - 8x - 3| - 2x - 8 > 0$

【発展 122 : 絶対値記号を複数含む式】

- ① 関数  $y = |2x - 4| + |x - 5|$  のグラフを書け.
- ② 方程式  $|x - 3| + |x - 5| = 3$  を解け.
- ③ 不等式  $|x^2 - 4x + 3| + |x - 2| < x$  を解け.



表などで場合分けを整理して，解答を作ろう．複雑な場合分けをしてもミスをしないためには，暗算に頼りすぎず，適度にメモを残しながら解くことが大事である．

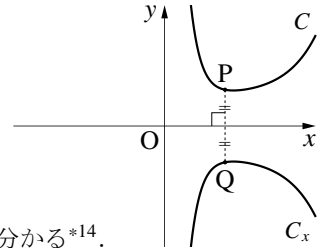


1. 一般のグラフの移動について

ここで示される内容は、数学Ⅱ以降で学ぶ関数についても成立するが、特に、 $f(x)$ が1次関数、2次関数であっても成立する。

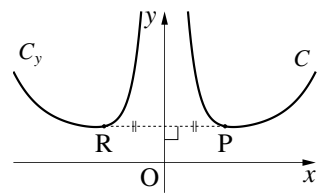
A. 一般の対称移動について

関数  $y = f(x)$  のグラフ  $C$  を、 $x$  軸に関して対称に移動したグラフ  $C_x$  を表す関数について考える。 $C$  上の点を  $P(x, v)$  を、 $x$  軸に関して対称に移動して  $C_x$  上の点  $Q(x, y)$  に移動したとしよう。このとき



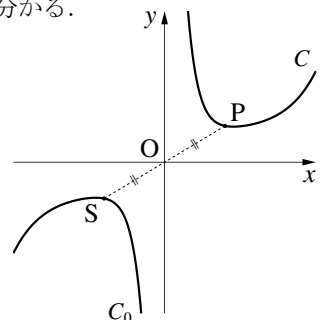
- i. 「 $P$ はグラフ  $y = f(x)$  上にある」 $\iff v = f(x)$
- ii. 「 $P$ と $Q$ は $x$ 軸対称」 $\iff v = -y$
- ii. を i. に代入して、 $-y = f(x)$  となり、 $Q(x, y)$  がグラフ  $-y = f(x)$  上にあると分かる<sup>\*14</sup>.

また、関数  $y = f(x)$  のグラフ  $C$  を、 $y$  軸に関して対称に移動したグラフ  $C_y$  を表す関数について考える。 $C$  上の点を  $P(u, y)$  を、 $y$  軸に関して対称に移動して  $C_y$  上の点  $R(x, y)$  に移動したとしよう。このとき



- i. 「 $P$ はグラフ  $y = f(x)$  上にある」 $\iff y = f(u)$
- ii. 「 $P$ と $R$ は $y$ 軸対称」 $\iff u = -x$
- ii. を i. に代入して、 $y = f(-x)$  となり、 $R(x, y)$  がグラフ  $y = f(-x)$  上にあると分かる。

最後に、関数  $y = f(x)$  のグラフ  $C$  を、原点に関して対称に移動したグラフ  $C_0$  を表す関数について考える。 $C$  上の点を  $P(u, v)$  を、原点に関して対称に移動して  $C_0$  上の点  $S(x, y)$  に移動したとしよう。このとき



- i. 「 $P$ はグラフ  $y = f(x)$  上にある」 $\iff v = f(u)$
- ii. 「 $P$ と $S$ は原点対称」 $\iff u = -x, v = -y$
- ii. を i. に代入して、 $-y = f(-x)$  となり、 $S(x, y)$  がグラフ  $-y = f(-x)$  上にあると分かる。

関数  $y = f(x)$  の対称移動

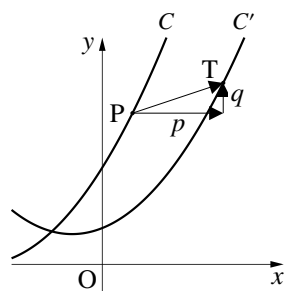
関数  $y = f(x)$  のグラフを、 $x$  軸に関して、 $y$  軸に関して、原点に関して対称移動したグラフを表す関数は、それぞれ次のようになる。

$-y = f(x)$	$x$ 軸に関する対称移動	$\leftarrow y$ を $-y$ に代えた
$y = f(-x)$	$y$ 軸に関する対称移動	$\leftarrow x$ を $-x$ に代えた
$-y = f(-x)$	原点に関する対称移動	$\leftarrow x$ を $-x$ に、 $y$ を $-y$ に代えた

<sup>\*14</sup> 厳密には、 $-y = f(x)$  を満たす任意の点  $Q$  をとり、その対称移動した点が  $C$  上にあることを示さないといけないが、ここでは省略した。 $C_y, C_0$  についても同様である。詳しくは、数学Ⅱの「軌跡」で学ぶ。

## B. 一般の平行移動について

関数  $y = f(x)$  のグラフ  $C$  を、 $x$  軸方向に  $p$ 、 $y$  軸方向に  $q$  平行移動したグラフ  $C'$  を表す関数について考える。  $C$  上の点を  $P(u, v)$  を、 $x$  軸方向に  $p$ 、 $y$  軸方向に  $q$  平行移動して  $C'$  上の点  $T(x, y)$  に移動したとしよう。このとき



- i. 「 $P$  はグラフ  $y = f(x)$  上にある」  $\iff v = f(u)$
- ii. 「 $P$  を  $x$  軸方向に  $p$ 、 $y$  軸方向に  $q$  平行移動して  $T$  になる」  
 $\iff x = u + p, y = v + q \iff u = x - p, v = y - q$
- ii. を i. に代入して、 $S(x, y)$  がグラフ  $y - q = f(x - p)$  上にあると分かる。

関数  $y = f(x)$  の平行移動

関数  $y = f(x)$  のグラフを、 $x$  軸方向に  $p$ 、 $y$  軸方向に  $q$  だけ平行移動したグラフを表す関数は

$$y - q = f(x - p) \quad \leftarrow x \text{ を } x - p \text{ に, } y \text{ を } y - q \text{ に代えた}$$

で表される。

## 2. 頂点の移動を用いて2次関数の移動を考える

2次関数の移動については、頂点の移動を用いて考えることもできる。ただし、 $x^2$  の係数には気をつけることになる。

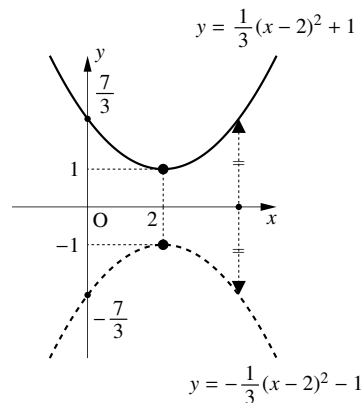
### A. 頂点の移動から2次関数の対称移動を考える ( $x$ 軸)

まず、 $x$  軸についての対称移動を考えよう。

たとえば、2次関数  $y = \frac{1}{3}(x-2)^2 + 1$  のグラフを  $x$  軸について対称移動すると、頂点は

$$(2, 1) \xrightarrow{x \text{ 軸対称移動}} (2, -1)$$

と移動し、さらに  $x^2$  の係数の符号が反対になる。つまり、点線 ----- のグラフの式は、 $y = -\frac{1}{3}(x-2)^2 - 1$  と分かる。



【例題 123】放物線  $C: y = (x+3)^2 + 1$  を  $x$  軸について対称移動してできる放物線  $C_x$  の方程式、頂点の座標、軸の方程式を求めよ。

## B. 頂点の移動から2次関数の対称移動を考える (y軸, 原点)

次に,  $x$  軸についての対称移動を考えよう.

たとえば, 2次関数  $y = \frac{1}{3}(x-2)^2 + 1$  のグラフを  $y$  軸について対称移動すると, 頂点は

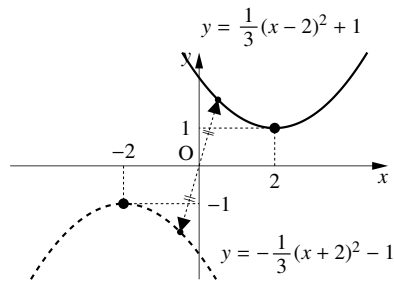
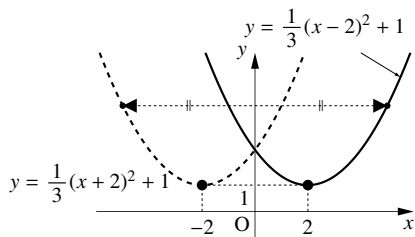
$$(2, 1) \xrightarrow{y \text{ 軸対称移動}} (-2, 1)$$

と移動する.  $x^2$  の係数は変化しない. つまり, 点線  $\cdots\cdots$  のグラフの式は,  $y = \frac{1}{3}(x+2)^2 + 1$  と分かる.

最後に, 2次関数  $y = \frac{1}{3}(x-2)^2 + 1$  のグラフを原点について対称移動すると, 頂点は

$$(2, 1) \xrightarrow{\text{原点对称移動}} (-2, -1)$$

と移動し, さらに  $x^2$  の係数の符号が反対になる. つまり, 点線  $\cdots\cdots$  のグラフの式は,  $y = -\frac{1}{3}(x+2)^2 - 1$  と分かる.



**【例題 124】** 放物線  $C: y = (x+3)^2 + 1$  について, 以下の問いに答えよ.

- 放物線  $C$  を  $y$  軸について対称移動した放物線  $C_y$  の方程式, 頂点の座標, 軸の方程式を求めよ.
- 放物線  $C$  を原点について対称移動した放物線  $C_0$  の方程式, 頂点の座標, 軸の方程式を求めよ.

# 第3章 三角比と図形の計量



たとえば、3 辺の長さが 4 cm, 5 cm, 7 cm の三角形は、1 つに決まる。しかし、その三角形の内角は何度くらいなのか、そもそも鋭角三角形か、鈍角三角形なのかは、描いてみないと分からない。

三角比を用いると、この問題を簡単な計算で解決する。



## 3.1 鋭角の三角比



この節では、直角三角形を用いて、 $90^\circ$  より小さな角(鋭角)の三角比を学ぶ。

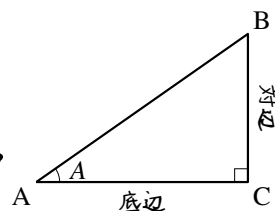
### 1. 三角比の定義 — 正接 (tan), 余弦 (cos), 正弦 (sin)

#### A. 直角三角形の辺の名前

AB が斜辺 (hypotenuse) である直角三角形 ABC を  $\angle A$  から見るとき\*1

辺 BC のことを対辺 (opposite side), 辺 CA のことを底辺 (base)

という。右図を「 $\rightarrow$ 」の位置から見ると、「 $\rightarrow$ 」の反対側に対辺があり、三角形の底に底辺がある。



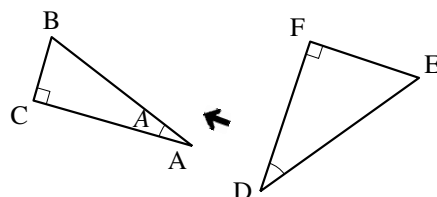
【例題 1】 右の  $\triangle ABC$  を「 $\rightarrow$ 」の位置から見たとき

辺 AB は斜辺, 辺 BC は , 辺 CA は

である。また、 $\triangle DEF$  を頂点 D から見たときは

辺  は斜辺, 辺  は対辺, 辺  は底辺

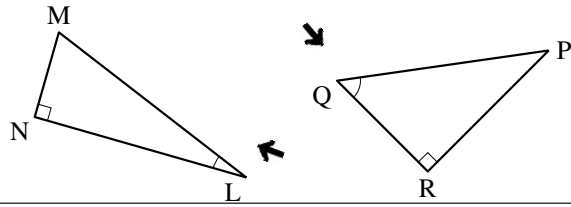
である。



\*1 この章の図にある「 $\rightarrow$ 」は、本文中で「～から見たときの」とある場合の説明の補助として使われている。自分も同じ所から見つめているつもりになって、図形を考えてみよう。

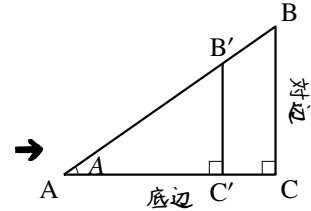
**【練習 2：直角三角形の辺の名称】**

「→」の位置から見たとき、左の三角形の LM, MN, NL, 右の三角形の PQ, QR, RP は、それぞれ対辺, 底辺, 斜辺のいずれか,



**B. 正接 (tan)**

右図において、 $\angle A$  から見たときの  $\frac{(\text{対辺})}{(\text{底辺})}$  の値は、 $\angle A$  の大きさだけで決まる。実際に測ってみれば、 $\frac{C'B'}{AC'} = \frac{0.75 \times CB}{0.75 \times AC} = \frac{CB}{AC}$  である ( $\triangle AB'C'$  は  $\triangle ABC$  の 0.75 倍で描かれている)。

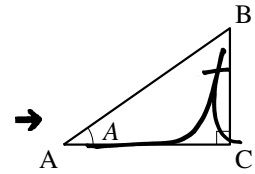


正接 (tan) の定義

右図の直角三角形 ABC において

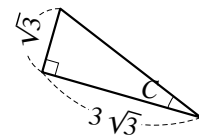
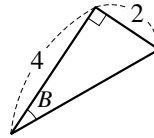
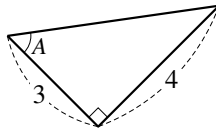
$$\overset{\text{タンジェントエー}}{\tan A} = \frac{(\text{対辺})}{(\text{底辺})} = \frac{CB}{AC} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{筆記体が終わる辺} \\ \leftarrow \text{筆記体が始まる辺} \end{array}$$

と定義し<sup>\*2</sup>,  $A$  の<sup>せいせつ</sup>正接または,  $A$  のタンジェント (tangent) という。  
 $\tan A$  は、 $\angle A$  から見た底辺に対する対辺の倍率を表している。



tan の定義は  $t$  の筆記体を用いて覚える。右上図では、 $t$  の筆記体は、分母の AC で始まり、分子の CB で終わる。

**【例題 3】** 右の図において、 $\tan A, \tan B, \tan C$  をそれぞれ求めよ。



必ず、筆記体を用いた定義を確認しよう。慣れれば、問題の図を回したり、自分で描きなおすことなく求められるようになる。

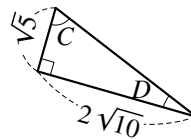
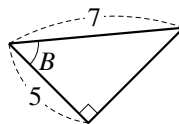
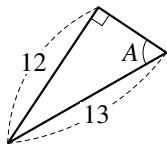
<sup>\*2</sup> この tan というのは、3 文字で 1 つの記号であり  $t \times a \times n$  のことではない。これを明確にするため、数学では  $\tan$  と斜体では書かず、 $\tan$  と立体で書く。これは、次にでてくる  $\sin, \cos$  も同様である。





【練習 5 : 余弦・正弦・正接の定義】

- (1)  $\cos A$ ,  $\sin A$ ,  $\tan A$  を求めよ.
- (2)  $\cos B$ ,  $\sin B$ ,  $\tan B$  を求めよ.
- (3)  $\cos C$ ,  $\sin C$ ,  $\tan C$  を求めよ.
- (4)  $\cos D$ ,  $\sin D$ ,  $\tan D$  を求めよ.



**D. 三角比の値**

正接, 余弦, 正弦をまとめて, **三角比** (trigonometric ratio) という. いろいろな角度に関する三角比の値を p.207 にまとめてある.

【例題 6】 p.207 を用いて次の間に答えよ. ただし,  $0^\circ < A < 90^\circ$  である.

1.  $\cos 40^\circ$  の値を調べよ. また,  $\sin A = 0.97$  のとき,  $A$  のおよその値を求めよ.
2.  $\cos B$  が  $\sin 20^\circ$  に等しいとき,  $B$  の値を求めよ.

## E. 分数と分数の比 — 複分数

「3を10で割った値」を $\frac{3}{10}$ と表すように、「 $\frac{\sqrt{2}}{3}$ を $\frac{1}{7}$ で割った値」を $\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\frac{1}{7}}$ と表すこともできる。このように、 $\frac{a}{b}$ の分子または分母がさらに分数であるとき、 $\frac{a}{b}$ を**複分数** (complex fraction) \*3という。複分数は三角比の計算においてよく現れる。

$$\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\frac{1}{7}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{3} \times 21}{\frac{1}{7} \times 21} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{3} \times 21^7}{\frac{1}{7} \times 21^3} = \frac{\sqrt{2} \times 7}{1 \times 3} = \frac{7\sqrt{2}}{3}$$

複分数は、分母と分子に同じ数を掛ければ複分数でなくなる\*4。

**【例題7】** 複分数 $\frac{\frac{\sqrt{3}}{5}}{\frac{2}{3}}$ を、普通の分数の(複分数でない)形にしろ。

## F. 有名角の三角比

$30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ の三角比の値は、知っているものとされる。これらの角は、有名角といわれる。

**【暗記8：有名角の三角比】**

- 3辺の長さが1, 2,  $\sqrt{3}$ の直角三角形を用い、 $\cos 30^\circ$ ,  $\sin 30^\circ$ ,  $\tan 30^\circ$ を求めよ。
- 3辺の長さが1, 1,  $\sqrt{2}$ の直角三角形を用い、 $\cos 45^\circ$ ,  $\sin 45^\circ$ ,  $\tan 45^\circ$ を求めよ。
- $\cos 60^\circ$ ,  $\sin 60^\circ$ ,  $\tan 60^\circ$ を求めよ。



有名角でない三角比の値を覚える必要はない。必要なときは、p.207の表を用いる。

\*3 繁分数 (compound fraction) ともいう。

\*4  $\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\frac{1}{7}}$  は  $\frac{\sqrt{2}}{3} \div \frac{1}{7}$  を計算しても求められる。

【練習9：複分数】

次の複分数を、普通の分数の形になおしなさい（分母の有理化もすること）。

(1)  $\frac{\frac{\sqrt{3}}{4}}{\frac{1}{7}}$

(2)  $\frac{\frac{5}{8}}{\frac{25}{9}}$

(3)  $\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$

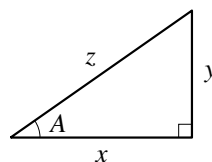
(4)  $\frac{2a}{\frac{1}{2}}$

2. 三角比の利用

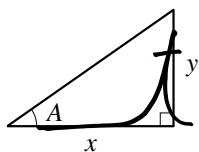
A. 三角比から辺の長さを求める

等式  $\tan A = \frac{y}{x}$  の両辺に  $x$  を掛けて

$$x \times \tan A = x \times \frac{y}{x} \Leftrightarrow x \tan A = y$$



という式を得る。この結果は、「 $x$  から  $t$  を書いて、 $y$  にたどりつく」筆記体と



「 $x$  に  $\tan$  を掛けて、 $y$  を求める」ことを結びつけて覚えるとよい。

$x \rightarrow y$  に筆記体  $t$  を書く

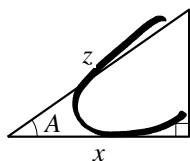
$$x \tan A = y$$

同じようにして、 $\cos$ 、 $\sin$  についても、以下の結果が成り立つ。

$z$  から  $x$  を求める式

$z \rightarrow x$  に筆記体  $c$  を書く

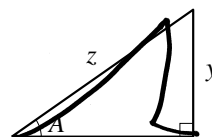
$$z \cos A = x$$



$z$  から  $y$  を求める式

$z \rightarrow y$  に筆記体  $s$  を書く

$$z \sin A = y$$



これら3つの式を用いると、三角比から辺の長さを計算しやすい。

【例題 10】 右の図形について

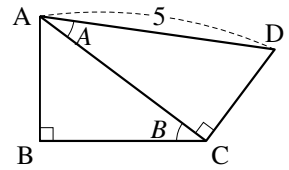
$$\sin A = \frac{3}{5}, \cos A = \frac{4}{5}, \tan B = \sqrt{2}, \cos B = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

とする. 以下の問いに答えよ.

1. 辺  から始めて  $\angle A$  について筆記体の  $s$  を書けば, 辺  $CD$  で終わるので,

$$CD = \text{ア} \sin A = \text{イ}$$

2. 辺  $AD$  から始めて  $\angle A$  について筆記体の  $c$  を書き,  $\angle B$  について筆記体の  $c$  を書けば辺  で終わるので,  =  $(AD \cos A) \cos B = AD \cos A \cos B = \text{エ}$



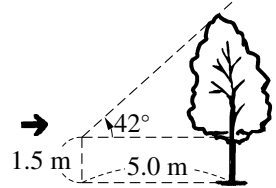
## B. 身近な例への三角比の応用

大きなものの長さや高さを測るために, 三角比は有効である.

【例題 11】 目の高さが 1.5 m にある人が, 木から 5.0 m 離れた地点に立って木のてっぺんを見上げた. すると, 水平な地面と視線のなす角<sup>\*5</sup>が  $42^\circ$ であった.

この木の高さはおよそ何 m か. (右図参照)

p.207 の三角比の表を使って, 小数第 2 位を四捨五入して答えなさい.

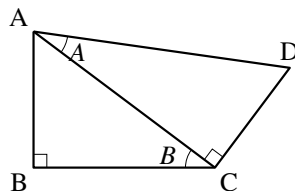


\*5 この角度のことを, ぎょうかく 仰角という.

【練習 12：三角比と辺の長さ】

右の図形について、次の問いに答えよ。

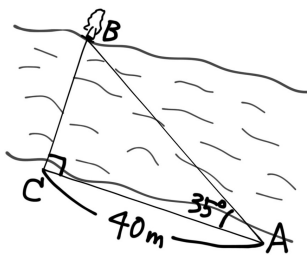
- (1)  $AD = 6$  のとき、長さが  $6 \sin A$ ,  $6 \cos A \sin B$  に等しい線分を、それぞれ答えよ。
- (2)  $AC = 5$  のとき、 $CD$ ,  $AB$ ,  $AD$  の長さを、 $A$ ,  $B$  で表せ。



【練習 13：身近な例への三角比の応用】

たこあ  
 凧揚げをしていたら、水平な地面に対し  $50^\circ$  の角度で長さ  $50.0 \text{ m}$  のひもが伸びきった。ひもを持つ手は  $1.0 \text{ m}$  の高さにあり、糸が一直線に伸びているならば、この凧は地面からおよそ何  $\text{m}$  の高さにあるか。  
 p.207 の三角比の表を使って、小数第 2 位を四捨五入して答えなさい。

【練習 14：川を渡らず川幅を知る方法】



川の長さを測るため、左図の  $A$  点と  $C$  点から、 $B$  点の木を観測したところ、 $\angle BCA = 90^\circ$ ,  $\angle BAC = 35^\circ$ ,  $AC = 40 \text{ m}$  であった。

- (1) 川の幅  $BC$  は何  $\text{m}$  か。 p.207 の三角比の表を使い、小数第 2 位を四捨五入して答えなさい。
- (2)  $C$  点から  $80 \text{ m}$  離れた点  $D$  から木を見ると、 $\angle BDC$  はおよそ何度か。 p.207 の三角比の表を使い、整数値で答えなさい。

… 上の例題のようにすれば、原理的には、 $B$  へ誰も行くことなく川幅を測ることができる。

### C. 15° の三角比とその周辺

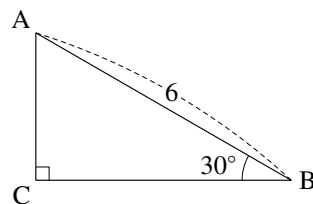
たとえば、右の直角三角形の BC の長さを考えよう。

この三角形は 30°, 60°, 90° の直角三角形なので、 $AB : BC = 2 : \sqrt{3}$  から

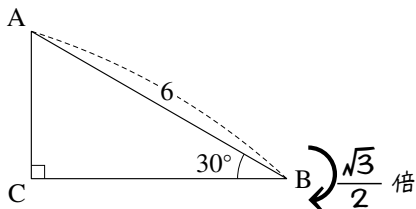
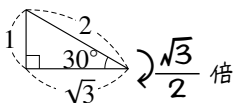
$$6 : BC = 2 : \sqrt{3} \Leftrightarrow 2BC = 6\sqrt{3}$$

であるので、 $BC = 3\sqrt{3}$  と求められる。

しかし、BC が AB の何倍なのか考えると、三角比を用いる必要もなく、さらに計算がしやすい。



もともになる三角形



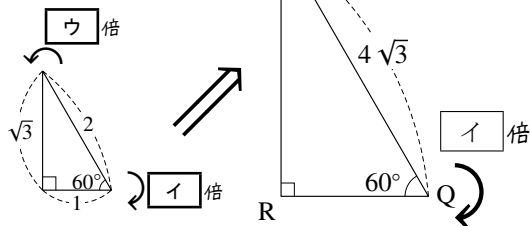
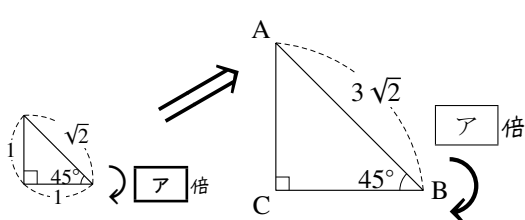
つまり

$$BC = 6 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{3}$$



上のやり方は結果的には、三角比の値を用いずに、等式  $BC = 6 \cos 30^\circ$  を用いている。

**【例題 15】** 次の図について、以下の問いに答えなさい。



1. 上の図の  に当てはまる値を答えなさい。値の分母は有理化しなくてよい。
2. BC, RQ, PR の長さを求めなさい。

#### D. $15^\circ$ , $75^\circ$ の三角比

有名角以外にも、 $15^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $72^\circ$  の三角比も計算で求められる ( $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $72^\circ$  の三角比については、p.202 を参照のこと)\*<sup>6</sup>.

##### 【練習 16 : $15^\circ$ , $75^\circ$ の三角比】

$\triangle ABC$  は  $\angle A = 75^\circ$ ,  $\angle B = 60^\circ$ ,  $\angle C = 45^\circ$  であり、A から辺 BC へ下ろした垂線の足\*<sup>7</sup>を D, B から辺 CA へ下ろした垂線の足を E とする.  $BD = 1$  とするとき, 以下の問いに答えなさい.

- (1) AB, AD の長さを求めよ.      (2) AC, BC の長さを求めよ.      (3) BE, AE の長さを求めよ.  
(4)  $\cos 15^\circ$ ,  $\sin 15^\circ$ ,  $\tan 15^\circ$  を求めよ.      (5)  $\cos 75^\circ$ ,  $\sin 75^\circ$ ,  $\tan 75^\circ$  を求めよ.

\*<sup>6</sup>  $15^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $72^\circ$  の三角比の値を覚える必要はない.

\*<sup>7</sup> 「A から辺 BC へ下ろした垂線の足」とは、「A から引いた辺 BC に垂直な線が、辺 BC と交わる点」のことである.



### 3. 三角比の相互関係

**A.**  $\tan A = \frac{\sin A}{\cos A}$

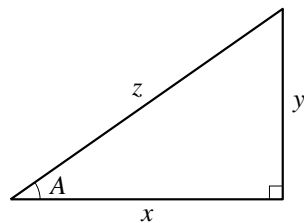
右図の直角三角形において、p.150 で学んだように

$$x = z \cos A, \quad y = z \sin A \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

であった。①を用いて

$$\tan A = \frac{y}{x} = \frac{z \sin A}{z \cos A} = \frac{\sin A}{\cos A}$$

となる。つまり、次の等式  $\tan A = \frac{\sin A}{\cos A}$  が成り立つ。



**B.**  $\cos^2 A + \sin^2 A = 1$

三平方の定理より  $x^2 + y^2 = z^2$  であるから、これに①を代入して

$$(z \cos A)^2 + (z \sin A)^2 = z^2$$

$$\Leftrightarrow z^2 (\cos A)^2 + z^2 (\sin A)^2 = z^2$$

$$\Leftrightarrow (\cos A)^2 + (\sin A)^2 = 1 \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

が成り立つ。普通  $(\cos A)^2$ ,  $(\sin A)^2$ ,  $(\tan A)^2$  は、それぞれ  $\cos^2 A$ ,  $\sin^2 A$ ,  $\tan^2 A$  と書かれる\*8。つまり、等式②は  $\cos^2 A + \sin^2 A = 1$  と書かれる。

**【例題 17】**

1.  $\sin A = \frac{2}{3}$  のとき、 $\sin^2 A$  はいくらか。 $\cos^2 A$  はいくらか。 $\cos A$  はいくらか。
2.  $\sin A = \frac{3}{5}$  のとき、 $\cos A$ ,  $\tan A$  の値を求めよ。

\*8  $A$  の 2 乗の  $\cos$  の値である  $\cos(A^2)$  と、 $\cos A$  の 2 乗である  $(\cos A)^2$  は、全く別の式であるが、かっこを省略して書くと、どちらも  $\cos A^2$  となり区別できない。そのため、 $\cos A^2$  と書かれたときは常に  $\cos(A^2)$  を表すと決まっている。 $(\cos A)^2$  のかっこを省略するときには、本文にもあるように  $\cos^2 A$  と書く。

【練習 18 : 三角比の相互関係の利用～その 1～】

$0^\circ < A < 90^\circ$  とする. 次の問いに答えよ.

- (1)  $\cos A = \frac{1}{3}$  のとき,  $\sin A$ ,  $\tan A$  の値を求めよ.
- (2)  $\sin A = \frac{2}{3}$  のとき,  $\cos A$ ,  $\tan A$  の値を求めよ.

【暗記 19 :  $\tan A$  と他の三角比との関係】

等式  $\tan A = \frac{\sin A}{\cos A}$  を用いて,  $\frac{1}{\tan A}$  を,  $\cos A$ ,  $\sin A$  で表せ.

### C. $\tan A$ から $\sin A$ , $\cos A$ を求める式

$\tan A$  しか与えられていないときは、別の公式が必要になる。

これは、 $\cos^2 A + \sin^2 A = 1$  の両辺を  $\sin^2 A$  で割って得られる。

$$\frac{\cos^2 A}{\sin^2 A} + 1 = \frac{1}{\sin^2 A}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{\tan^2 A} + 1 = \frac{1}{\sin^2 A}$$

次ページで証明する式 iv) と合わせ、次のようにまとめられる。

三角比の相互関係

右図の直角三角形において

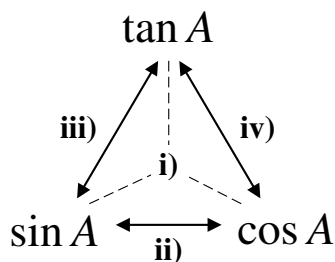
i)  $\tan A = \frac{\sin A}{\cos A}$  (sin A, cos A, tan A の関係)

ii)  $\cos^2 A + \sin^2 A = 1$  (sin A と cos A の関係)

が成り立つ。また、次の等式も成り立つ。

iii)  $\frac{1}{\tan^2 A} + 1 = \frac{1}{\sin^2 A}$  (tan A と sin A の関係)

iv)  $1 + \tan^2 A = \frac{1}{\cos^2 A}$  (cos A と tan A の関係)



iii) と iv) の式を覚える必要はない。ii) の両辺を  $\sin^2 A$  や  $\cos^2 A$  で割ればよい、と理解しておけばよい。

【例題 20】  $0^\circ < A < 90^\circ$  とする。  $\tan A = 7$  のとき、  $\cos A$ ,  $\sin A$  の値を求めよ。

【暗記 21 :  $\tan A$  と  $\cos A$  との関係】

$\cos^2 A + \sin^2 A = 1$  から, 等式  $1 + \tan^2 A = \frac{1}{\cos^2 A}$  を導け.

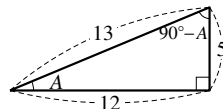
【練習 22 : 三角比の相互関係の利用～その 2～】

$0^\circ < A < 90^\circ$  とする.  $\tan A = \frac{1}{5}$  のとき,  $\cos A$ ,  $\sin A$  の値を求めよ.

#### D. $90^\circ - A$ の三角比

【例題 23】 右図の直角三角形において

1.  $\cos A$ ,  $\sin A$ ,  $\tan A$  を求めよ.
2.  $\cos(90^\circ - A)$ ,  $\sin(90^\circ - A)$ ,  $\tan(90^\circ - A)$  を求めよ.



右図の直角三角形において

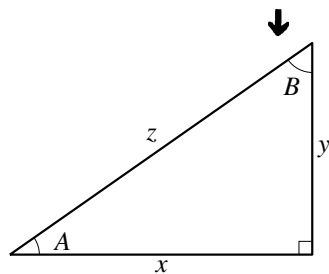
$$B = 90^\circ - A$$

であるから、以下のように表すことができる。

$$\cos(90^\circ - A) = \cos B = \frac{y}{z} = \sin A$$

$$\sin(90^\circ - A) = \sin B = \frac{x}{z} = \cos A$$

$$\tan(90^\circ - A) = \tan B = \frac{x}{y} = \frac{1}{\tan A}$$



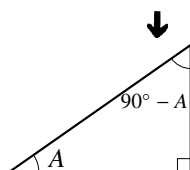
90° - A の三角比

右図の直角三角形を考えて、以下の等式が成り立つ。

$$\cos(90^\circ - A) = \sin A$$

$$\sin(90^\circ - A) = \cos A$$

$$\tan(90^\circ - A) = \frac{1}{\tan A}$$



この式は暗記するようなものではない。「90° - A の三角比は A だけを使った三角比で表せる」ことを理解し、公式を作れるようにすればよい。

**【練習 24 : 90° - A の三角比の利用】**

(1) 次の三角比を 45° 以下の角の三角比で表せ。

1)  $\sin 80^\circ$

2)  $\cos 46^\circ$

3)  $\tan 82^\circ$

(2)  $\sin^2 20^\circ + \sin^2 70^\circ$  を簡単にしなさい。

45° < A < 90° の三角比は、0° < A < 45° の三角比になおすことができる。

p.207 の三角比の表において、 $\cos 89^\circ = \sin 1^\circ$ 、 $\cos 88^\circ = \sin 2^\circ$ 、… を確認してみよう。

## 3.2 三角比の拡張

これまでは、鋭角の三角比のみを考えてきた。ここでは三角比の考えを直角・鈍角・ $0^\circ \cdot 180^\circ$ へと拡張し、 $0^\circ$  から  $180^\circ$  までの三角比を統一的に扱う。

### 1. 座標と三角比の関係

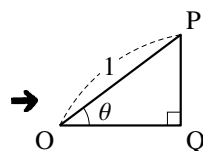
#### A. 斜辺が 1 である直角三角形の三角比

斜辺が 1 である直角三角形  $OPQ$  について、三角比を考えよう。すると、正弦、余弦、正接はそれぞれ

$$\sin \theta = \frac{PQ}{OP} = PQ, \quad \cos \theta = \frac{OQ}{OP} = OQ$$

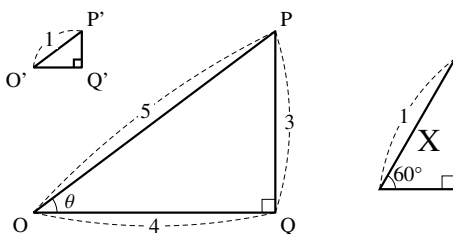
と書ける\*9。つまり、斜辺の長さが 1 である直角三角形では

「対辺の長さは  $\sin \theta$  の値を表し、底辺の長さは  $\cos \theta$  の値を表す」



#### 【例題 25】

- $\triangle OPQ$  と  $\triangle O'P'Q'$  は相似である。  $O'Q'$ 、  $Q'P'$  の長さを求めなさい。また、  $\cos \theta$ 、  $\sin \theta$  の値を求めなさい。
- 右奥の直角三角形 X について、斜辺以外の 2 辺の長さを求めなさい。



\*9 拡張された三角比では、 $\theta$ 、 $\varphi$  などギリシア文字を使うことが多い。ギリシア文字の一覧は p.vi 参照。

## B. 単位円と直角三角形

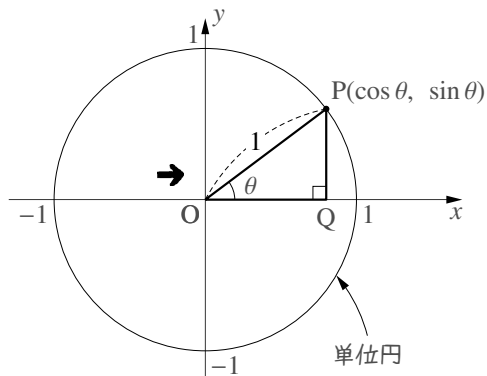
座標平面上の原点  $O$  を中心とする半径 1 の円を単位円 (unit circle) という。前ページの  $\triangle OPQ$  を、左図のように単位円の (上半分の) 中に描いてみよう。そのようにすれば

$$\cos \theta = OQ = (\text{P の } x \text{ 座標})$$

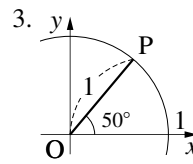
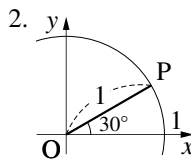
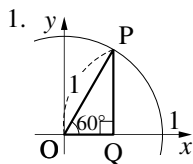
$$\sin \theta = QP = (\text{P の } y \text{ 座標})$$

$$\tan \theta = \frac{QP}{OQ} = \frac{\text{P の } y \text{ 座標}}{\text{P の } x \text{ 座標}} = (\text{線分 OP の 傾き})$$

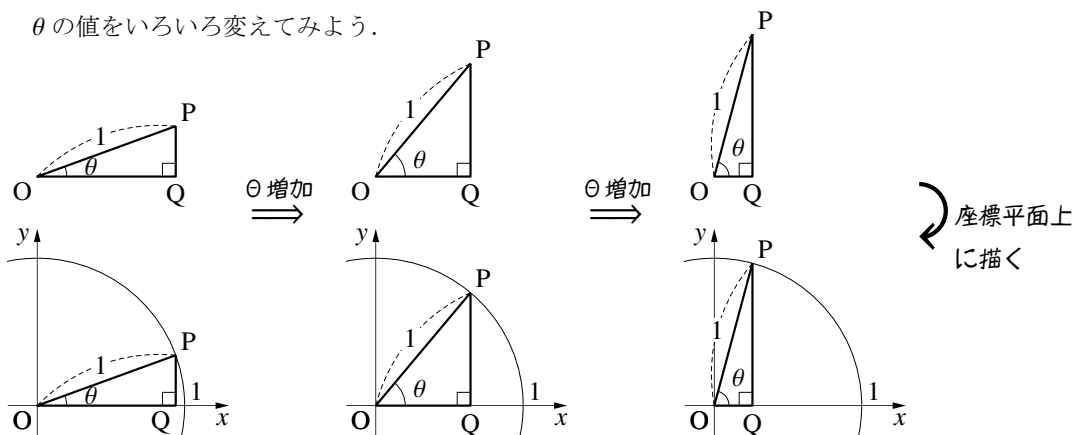
となる。



**【例題 26】** 右の各図について、点  $P$  の座標をそれぞれ求めなさい。ただし、3. については「三角比の表 (p.207)」を用いなさい。

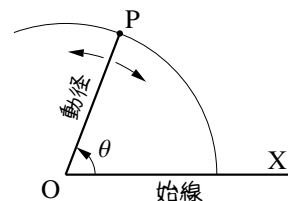


$\theta$  の値をいろいろ変えてみよう。



常に単位円周にある点  $P$  を角点 (angular point) という<sup>\*10</sup>。

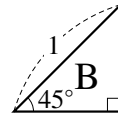
上の図において、角  $\theta$  の大きさは、角点  $P$  の位置で決まる。 $\theta$  の増加に伴い、角点  $P$  は反時計回りに回る。このとき、回転する線分  $OP$  を動径 (radial vector)，固定された半直線  $OX$  を始線 (initial line) という。



<sup>\*10</sup> この「角点」という用語は 13th-note の造語であるので注意のこと。

【練習 27：斜辺が 1 である直角三角形】

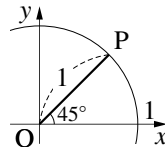
- (1) 右の直角三角形 B について，斜辺以外の 2 辺の長さを求めなさい。  
 (2) 斜辺の長さが 1，底辺の長さが  $\frac{12}{13}$  である直角三角形について，対辺の長さを求めなさい。



【練習 28：単位円と角点】

右図について，以下の問いに答えなさい。

- (1) 動径と始線はどれか．右図に書き込みなさい。  
 (2) 角点 P の座標をそれぞれ求めなさい。



C. 三角比の拡張

角点 P の動く範囲を第 2 象限に広げれば，鈍角の三角比の定義を得る。

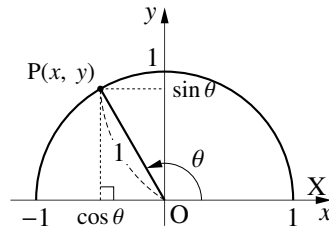
0° から 180° までの三角比

点 O を原点とする座標平面上に単位円の上半分をとり，その周上に角点 P をとる．x 軸の正の部分 OX に対し， $\angle POX = \theta$  ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ) とするとき

$$\cos \theta = (\text{角点 P の } x \text{ 座標})$$

$$\sin \theta = (\text{角点 P の } y \text{ 座標})$$

$$\tan \theta = \frac{(\text{角点 P の } y \text{ 座標})}{(\text{角点 P の } x \text{ 座標})} = *11 (\text{動径 OP の傾き})$$

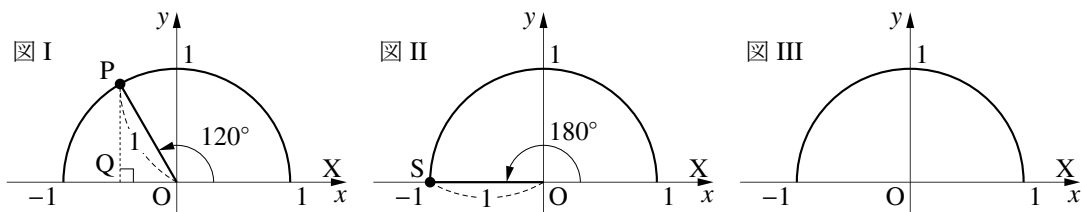


とする．ただし，角点 P の x 座標が 0 のとき，つまり， $\theta = 90^\circ$  のときは  $\tan \theta$  を定義しない。

\*11 この等号は，(動径 OP の傾き) =  $\frac{(\text{点 P の } y \text{ 座標}) - (\text{点 O の } y \text{ 座標})}{(\text{点 P の } x \text{ 座標}) - (\text{点 O の } x \text{ 座標})}$  であることから導かれる。



【例題 29】



1. 図 I の角点 P, 図 II の角点 S の座標を求めよ.
2.  $\cos 120^\circ$ ,  $\sin 120^\circ$ ,  $\tan 120^\circ$ ,  $\cos 180^\circ$ ,  $\sin 180^\circ$ ,  $\tan 180^\circ$  の値を求めなさい.
3.  $\angle AOX = 135^\circ$  となるときの角点 A のおよその位置を図 III に書き込み, A の座標を答えよ.
4.  $\sin 135^\circ$ ,  $\cos 135^\circ$ ,  $\tan 135^\circ$  の値を求めよ.

D. 三角比から角度を求める

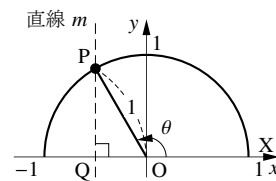
(p.207 の三角比の表を用いずに)三角比から角度を求めることを考えよう. そのためには, 単位円を書いて, 角点がどこにあるのかを書き込めばよい.

【例題 30】  $\cos \theta = -\frac{1}{2}$  を満たす  $\theta$  を求めたい. それには

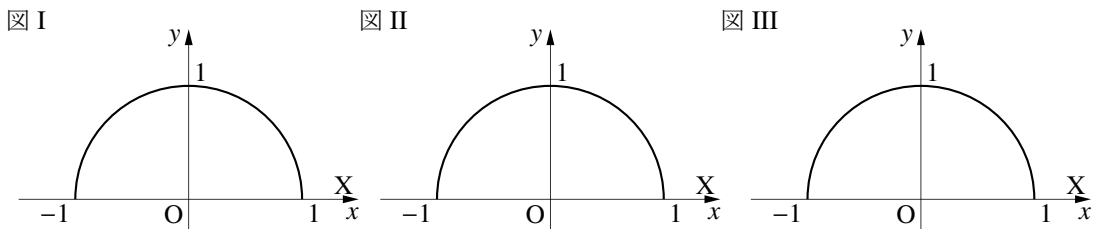
(角点 P の **ア** 座標) =  $-\frac{1}{2}$

となればよい. 直線  $m$  : **ア** =  $-\frac{1}{2}$  と単位円の交点は右図の P になり,

$\angle POQ =$  **イ** である. よって, 図中の角  $\theta$  は **ウ** であるから  $\theta =$  **ウ** とわかる.



【暗記 31：拡張された三角比】



1.  $\angle POX = 30^\circ$  となる角点 P を図 I に書き込み,  $\cos 30^\circ$ ,  $\sin 30^\circ$ ,  $\tan 30^\circ$  の値を求めよ.  
(図に書き込む点はおよその位置でよい, これは以下の問題でも同様である.)
2.  $\angle QOX = 150^\circ$  となる角点 Q を図 II に書き込み,  $\cos 150^\circ$ ,  $\sin 150^\circ$ ,  $\tan 150^\circ$  の値を求めよ.
3.  $\angle ROX = 90^\circ$  となる角点 R を図 III に書き込み,  $\cos 90^\circ$ ,  $\sin 90^\circ$  の値を求めよ.

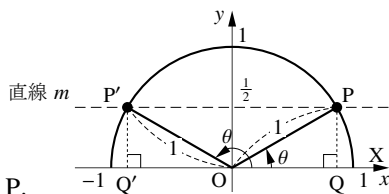
【練習 32：三角比を含む方程式～その 1～】

$\sin \theta = \frac{1}{2}$  を満たす  $\theta$  を求めたい. それには

(角点の ア 座標) =  $\frac{1}{2}$

となればよい. 直線  $m$  : ア =  $\frac{1}{2}$  と単位円の交点は右図の角点 P,

P' になり,  $\angle POQ$  も  $\angle P'OQ'$  も イ に等しい. よって,  $\sin \theta = \frac{1}{2}$  の解は  $\theta =$  ウ, エ になる.



【練習 33 : 三角比を含む方程式～その 2～】

以下の式を満たす  $\theta$  を求めよ. ただし  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  とする.

(1)  $\cos \theta = -\frac{\sqrt{3}}{2}$

(2)  $\sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$

(3)  $\tan \theta = -\sqrt{3}$

(4)  $\sin \theta = 1$

【発展 34 : 三角比を含む不等式】

以下の式を満たす  $\theta$  を求めよ. ただし  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  とする.

①  $\cos \theta \leq -\frac{\sqrt{3}}{2}$

②  $\sin \theta > \frac{\sqrt{2}}{2}$

③  $\tan \theta > -\sqrt{3}$

【練習 35 : 有名角の三角比】

$0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 180^\circ$  の三角比の値をそれぞれ求めよ.

これらの値は、単位円を用いていつでも導けるようにしておこう. また、 $90^\circ$  以上の有名角でない角の三角比の値は、p.207 の三角比の表、『 $90^\circ + \theta$  の三角比』(p.171), 『 $180^\circ - \theta$  の三角比』(p.170) を用いて求める.

## 2. 拡張された三角比の相互関係

### A. 拡張された三角比の相互関係

鋭角の三角比において成立した以下の式は、 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  においても成立する.

拡張された三角比の相互関係

角  $\theta$  が  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  のとき、次の式が成り立つ. (ただし、i), iii), iv) において、分母が 0 となる場合は考えない.)

i)  $\sin \theta, \cos \theta, \tan \theta$  の関係

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

ii)  $\sin \theta$  と  $\cos \theta$  の関係

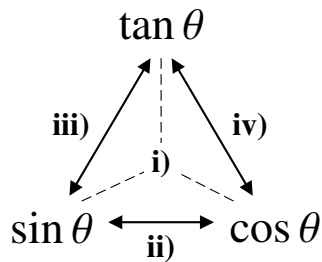
$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

iii)  $\tan \theta$  と  $\sin \theta$  の関係

$$1 + \frac{1}{\tan^2 \theta} = \frac{1}{\sin^2 \theta}$$

iv)  $\cos \theta$  と  $\tan \theta$  の関係

$$\tan^2 \theta + 1 = \frac{1}{\cos^2 \theta}$$



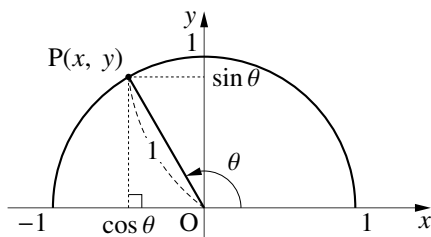
右図の単位円において  $\cos \theta = x, \sin \theta = y$  であり

$$\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

は  $\tan$  の定義であった\*12. また、三平方の定理より  $x^2 + y^2 = 1$  であるから

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

が成り立つ. この等式から、鋭角の時と同じように iii), iv) は導かれる (自力で導けるよう練習しよう).



\*12 p.162 の脚注を参照のこと

【例題 36】 次の問に答えよ。ただし  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$  である。

1.  $\sin \alpha = \frac{3}{5}$  のとき,  $\cos \alpha$ ,  $\tan \alpha$  の値を求めよ.
2.  $\cos \alpha = \frac{1}{3}$  のとき,  $\sin \alpha$ ,  $\tan \alpha$  の値を求めよ.



公式 ii), iii), iv) を用いるときは,  $\sin$  は負の値にならないことに注意して解く必要がある.

一方,  $\cos$ ,  $\tan$  の値は, 負の値もとりうることに注意しよう.

【暗記 37 :  $\tan \theta$  と  $\cos \theta$  との関係】

$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$  から, 等式  $1 + \tan^2 \theta = \frac{1}{\cos^2 \theta}$ ,  $1 + \frac{1}{\tan^2 \theta} = \frac{1}{\sin^2 \theta}$  を導け.

【練習 38 : 三角比の相互関係の利用～その 3～】

『拡張された三角比の相互関係』を使って次の間に答えよ. ただし  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$  である.

- (1)  $\cos \alpha = -\frac{\sqrt{7}}{4}$  のとき,  $\sin \alpha$ ,  $\tan \alpha$  の値を求めよ.
- (2)  $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{3}$  のとき,  $\cos \alpha$ ,  $\tan \alpha$  の値を求めよ.
- (3)  $\tan \alpha = 7$  のとき,  $\cos \alpha$ ,  $\sin \alpha$  の値を求めよ.

**【練習 39 : 三角比の計算】**

次の式を簡単にせよ.

(1)  $(\sin \theta + \cos \theta)^2 + (\sin \theta - \cos \theta)^2$

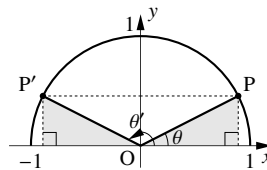
(2)  $\frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} - \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta}$

## B. $180^\circ - \theta$ の三角比

【例題 40】 右の単位円において、角点 P の座標は  $(0.891, 0.454)$  である。

以下の問いに答えよ。

- $\cos \theta$ ,  $\sin \theta$  を求めよ。
- 図中の  $\theta'$  を  $\theta$  で表せ。
- P' の座標を求めよ。
- $\cos \theta'$ ,  $\sin \theta'$  を求めよ。



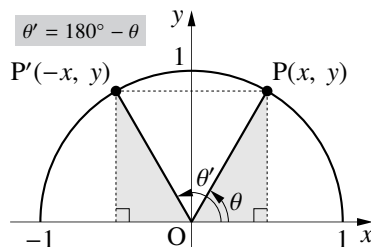
右図のように、単位円周上に角  $\theta$  の動径 OP と角  $180^\circ - \theta (= \theta'$  とする) の動径 OP' をとる。

点 P の座標を  $(x, y)$  とすると、点 P' の座標は  $(-x, y)$  であり

$$\sin \theta' = y = \sin \theta, \quad \cos \theta' = -x = -\cos \theta,$$

$$\tan \theta' = \frac{y}{-x} = -\frac{y}{x} = -\tan \theta$$

と表すことができる。ここで、 $\theta' = 180^\circ - \theta$  であるから、次のようにまとめることができる。



### $180^\circ - \theta$ の三角比

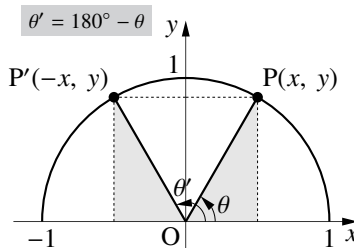
角  $\theta$  が  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  の三角比において

$$\sin(180^\circ - \theta) = \sin \theta$$

$$\cos(180^\circ - \theta) = -\cos \theta$$

$$\tan(180^\circ - \theta) = -\tan \theta$$

が成り立つ(ただし、 $\tan 90^\circ$  は考えない)。



つまり、 $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  の三角比は、 $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$  の三角比になおして、その値を求めることができる。

【例題 41】 次の式を満たすように  の中に  $90^\circ$  より小さい角を入れよ。

1.  $\sin 100^\circ = \sin$

2.  $\cos 179^\circ = -\cos$

3.  $\tan 125^\circ = -\tan$





この式は暗記するようなものではない。「 $180^\circ - \theta$ の三角比は $\theta$ だけを使った三角比で表せる」とを理解し、必要なときに、上のように単位円を描き、導出できるようにしておこう。

【例題 42】 p.207 を用いて、 $\cos 110^\circ$ 、 $\sin 110^\circ$ 、 $\tan 110^\circ$  の値を求めよ。

### C. $90^\circ + \theta$ の三角比

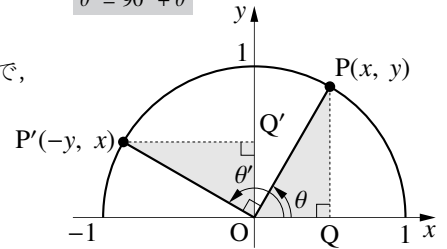
右図のように、単位円周上に角  $\theta$  の動径  $OP$  と角  $90^\circ + \theta (= \theta'$  とする)の動径  $OP'$  をとる。

点  $P$  の座標を  $(x, y)$  とすると、 $\triangle OPQ$  と  $\triangle OP'Q'$  は合同なので、点  $P'$  の座標は  $(-y, x)$  となるから

$$\sin \theta' = x = \cos \theta, \quad \cos \theta' = -y = -\sin \theta,$$

$$\tan \theta' = \frac{x}{-y} = -\frac{x}{y} = -\frac{1}{\tan \theta}$$

$$\theta' = 90^\circ + \theta$$



と表すことができる。ここで、 $\theta' = 90^\circ + \theta$  であるから、次のようにまとめることができる。

### $90^\circ + \theta$ の三角比

角  $\theta$  が  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  の三角比において

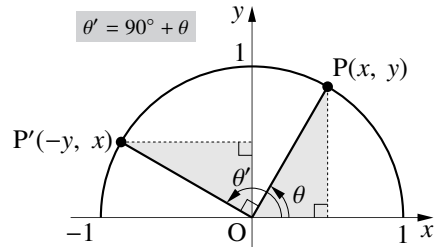
$$\sin(90^\circ + \theta) = \cos \theta$$

$$\cos(90^\circ + \theta) = -\sin \theta$$

$$\tan(90^\circ + \theta) = -\frac{1}{\tan \theta}$$

が成り立つ(ただし、 $\tan 90^\circ$  は考えない)。

$$\theta' = 90^\circ + \theta$$



【例題 43】 次の式を満たすように  の中に  $90^\circ$  より小さい角を入れよ。

1.  $\sin 100^\circ = \cos$

2.  $\cos 179^\circ = -\sin$

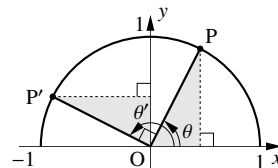
3.  $\tan 125^\circ = -\frac{1}{\tan}$



この式も暗記するようなものではない。「 $90^\circ + \theta$ の三角比は $\theta$ だけを使った三角比で表せる」ということを理解し、必要なときに、上のように単位円を描いて導出できるようにしておこう。

【暗記 44 :  $90^\circ + \theta$  の三角比の導出】

右の単位円において、角点 P の座標は  $(a, b)$  である。以下の問いに答えよ。



1.  $\cos \theta, \sin \theta$  を  $a, b$  で表せ.
2. 図中の  $\theta'$  を  $\theta$  で表せ.
3.  $P'$  の座標を  $a, b$  で表せ.
4.  $\cos \theta', \sin \theta'$  を  $a, b$  で表せ.

【練習 45 :  $180^\circ - \theta, 90^\circ + \theta$  の三角比の利用～その 1～】

次の式を満たすように  の中に  $90^\circ$  より小さい角を入れよ。

- (1)  $\cos 120^\circ = -\cos$  ,  $\sin 120^\circ = \sin$        (2)  $\cos 120^\circ = -\sin$  ,  $\sin 120^\circ = \cos$
- (3)  $\tan 120^\circ = -\tan$   =  $-\frac{1}{\tan}$

【練習 46 :  $180^\circ - \theta, 90^\circ + \theta$  の三角比の利用～その 2～】

次の式を簡単にしなさい。

- (1)  $\sin 20^\circ + \sin 50^\circ + \sin 80^\circ + \cos 110^\circ + \cos 140^\circ + \cos 170^\circ$
- (2)  $\cos 10^\circ + \cos 50^\circ + \cos 90^\circ + \cos 130^\circ + \cos 170^\circ$



#### 1. 辺と角の名前

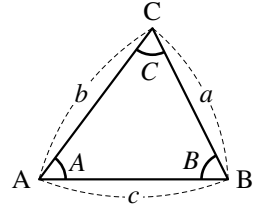
$\triangle ABC$  において、次のように略すことが多い。目的は、後で学ぶ公式を見やすくする事である。

$\angle A, \angle B, \angle C$  の大きさ  $\rightarrow$  それぞれ  $A, B, C$

辺  $BC, CA, AB$  の長さ  $\rightarrow$  それぞれ  $a, b, c$

たとえば、角  $A$  の向かい側にある辺  $BC$  を  $a$  と表すことになる。

今後、特に断りのない限りこの記法にしたがうこととする。

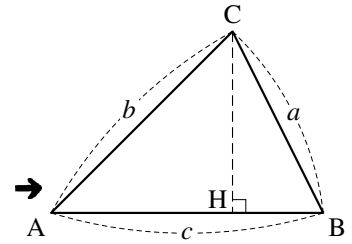


#### 2. 余弦定理 (第2余弦定理)

##### A. 点 A からみた余弦定理

A が鋭角である  $\triangle ABC$  において、右図のように垂線  $CH$  をひき、 $\triangle BCH$  に三平方の定理を用いると

$$\begin{aligned} a^2 &= BC^2 = CH^2 + BH^2 \\ &= (b \sin A)^2 + (c - b \cos A)^2 \\ &= b^2 \sin^2 A + c^2 - 2bc \cos A + b^2 \cos^2 A \\ &= b^2 (\sin^2 A + \cos^2 A) + c^2 - 2bc \cos A \\ &= b^2 + c^2 - 2bc \cos A \end{aligned}$$



という等式が成り立つ。この等式

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

を (点 A からみた) 余弦定理 (cosine theorem) と呼ぶ\*13。

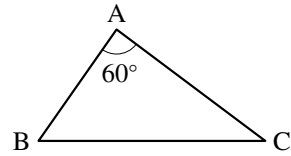
【例題 47】  $\triangle ABC$  において、 $b = 3$ 、 $c = 4\sqrt{2}$ 、 $A = 45^\circ$  のとき、 $a$  の値を求めよ。

\*13 第2余弦定理 (second cosine theorem) ともいう。第1余弦定理については p.205 を参照のこと。単に「余弦定理」というときにはこちらを指す。

【練習 48：余弦定理の利用～その 1～】

右図の  $\triangle ABC$  について、以下の問いに答えなさい。

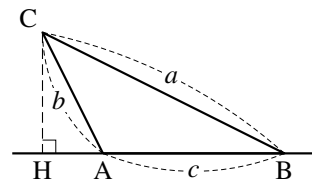
- (1)  $a, b, c$  は、通常どの辺の長さを表すか。右図に書き込みなさい。
- (2)  $b = 3, c = 2$  のとき、 $a$  の値を求めよ。
- (3)  $a = 3\sqrt{7}, c = 6$  のとき、 $b$  の値を求めよ。



**B. 辺の長さを求める**

(点 A からみた) 余弦定理は、 $A$  が鋭角でなくても成り立つ。右下の図のように、直線  $AB$  上に垂線  $CH$  をひき、 $\triangle BCH$  に三平方の定理を用いると

$$\begin{aligned}
 (\text{左辺}) &= a^2 = BC^2 = CH^2 + BH^2 \\
 &= \{b \sin(180^\circ - A)\}^2 + \{c + b \cos(180^\circ - A)\}^2 \\
 &= (b \sin A)^2 + (c - b \cos A)^2 \leftarrow \text{『}180^\circ - \theta \text{の三角比』(p.170)} \\
 &\quad (\text{Aが鋭角の時と同じ計算になるので、省略}) \\
 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos A = (\text{右辺})
 \end{aligned}$$



角  $A$  が直角のときも、上の等式において  $A = 90^\circ$  とすれば成立する。

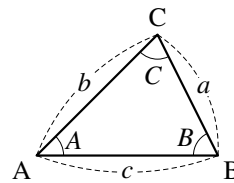
余弦定理 (辺の長さを求める)

$\triangle ABC$  において、次の等式が成り立つ。

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad (\text{点Aからみた余弦定理})$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B \quad (\text{点Bからみた余弦定理})$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C \quad (\text{点Cからみた余弦定理})$$



たとえば、点  $A$  から見る代わりに点  $B$  から見ると、 $a$  は  $b$  に、 $b$  は  $c$  に、 $c$  は  $a$  に、 $A$  は  $B$  になって、点  $A$  からみた余弦定理は点  $B$  からみた余弦定理となる。



この公式は、「2 辺とその間の角が分かれば三角形は決定し、特に、もう 1 辺の長さが決まる」事実に対応している。ただし、上の例題 (3) や p.177, 181 のように「2 辺とその間でない角」が与えられた三角形においても、この余弦定理は利用できる。

【例題 49】  $\triangle ABC$  において、 $a = 3$ 、 $b = 4\sqrt{2}$ 、 $C = 135^\circ$  のとき、 $c$  の値を求めよ。

### C. 角(の余弦)の大きさを求める

点 A から見た余弦定理  $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$  を  $\cos A$  について解けば

$$2bc \cos A = b^2 + c^2 - a^2 \Leftrightarrow \cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

となるので、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  の大きさから角 A (の余弦) 求めることができる。

この等式も、単に余弦定理と呼ばれることが多い。

【例題 50】  $\triangle ABC$  において、 $a = \sqrt{19}$ 、 $b = 3$ 、 $c = 5$  のとき、 $A$  の値を求めよ。また、 $\cos C$  を求めよ。



「 $\cos C$  を求めよ」のような問題では、角  $C$  の値を求める必要はない。

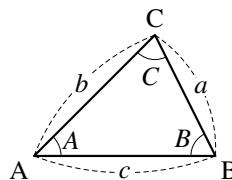
### 余弦定理 (角の余弦を求める)

$\triangle ABC$  において、次の等式が成り立つ。

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (\text{点 A からみた余弦定理})$$

$$\cos B = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca} \quad (\text{点 B からみた余弦定理})$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (\text{点 C からみた余弦定理})$$



この等式は「3 辺を決めれば三角形も決定し、内角の大きさが決まる」ことに対応している。

この形で余弦定理を覚えてもよい。覚えやすい方で覚え、もう一方へ変形できれば十分である。

【暗記 51：余弦定理の式変形】

1. 等式  $b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B$  から、 $\cos B$  を  $a, b, c$  で表す式を導け.
2. 等式  $\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$  から、 $c^2$  を求める式を導け.

### 3. 三角形の決定 (1)

#### A. 三角形の決定条件・その1～3辺が与えられた場合

3辺の長さを与えれば、三角形はただ1つに決定し、余弦定理を用いて、各頂点の角度の大きさを計算できる。これは、三角形の合同条件「3辺が等しい(3辺相等)」に対応している。

【練習 52：余弦定理の利用～その2～】

$\triangle ABC$  の3辺の長さが  $a = \sqrt{21}$ ,  $b = 4$ ,  $c = 5$  のとき

- (1)  $A$  の値を求めよ。      (2)  $\cos C$  を求め、 $\angle C$  は鋭角か鈍角か答えよ。

#### B. 鋭角三角形・鈍角三角形

鋭角三角形なのか、鈍角三角形なのかは、三角形の一番大きな角が鋭角か、鈍角か調べれば十分である。

【練習 53：鋭角三角形・鈍角三角形】

3辺が4, 5, 7の三角形において、最も大きな角はどこか。また、これは鋭角三角形か、鈍角三角形か。

点 A からみた余弦定理  $\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2ab}$  を用いて、次の事実が導かれる。

$$A \text{ が鋭角} \Leftrightarrow \cos A > 0 \Leftrightarrow a^2 < b^2 + c^2$$

$$A \text{ が直角} \Leftrightarrow \cos A = 0 \Leftrightarrow a^2 = b^2 + c^2 \quad (\text{三平方の定理に一致})$$

$$A \text{ が鈍角} \Leftrightarrow \cos A < 0 \Leftrightarrow a^2 > b^2 + c^2$$

### C. 三角形の決定条件・その2～2辺とその間の角が与えられた場合

2辺とその間の角を与えれば三角形はただ1つに決定し、余弦定理を用いて残りの辺の長さや角度の大きさを計算できる。これは、三角形の合同条件「2辺とその間の角が等しい(2辺夾角相等)」に対応している。

【例題 54】  $\triangle ABC$  において、 $a = 3$ 、 $b = 3\sqrt{2}$ 、 $C = 135^\circ$  のとき、 $c$ 、 $\cos B$  の値を求めよ。

### D. 答えが2つある三角形

2辺とその間でない角が与えられた場合も、余弦定理を用いて計算できる。しかし、三角形が決定するとは限らず、答えが2つになる場合がある。この問題については p.181 において再び取り上げられる。

【練習 55 : 2辺とその間でない角が与えられた場合～その1～】

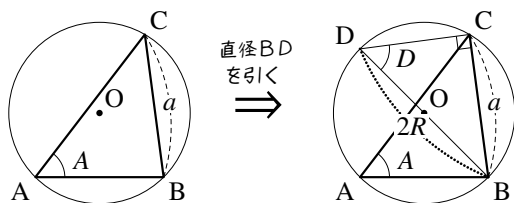
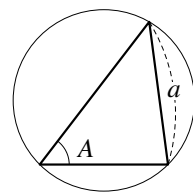
$A = 60^\circ$ 、 $a = 9$ 、 $b = 10$  である三角形において、 $c$  を求めよ。

## 4. 正弦定理

### A. 外接円と正弦定理

三角形の3つの頂点を通る円を、その三角形の**外接円** (circumscribed circle) といひ、外接円の中心を**外心** (circumcenter) という\*14。数学 A で学ぶように、1つの三角形に対し、外接円と外心は1つに定まる。

次のように、外心が  $O$  である鋭角三角形  $\triangle ABC$  を考え、直径  $BD$  を引こう。



線分  $BD$  は円の直径なので  $\angle BCD = 90^\circ$  であり、 $\triangle DBC$  は直角三角形と分かり、 $\sin D = \frac{a}{2R}$  である。円周角の定理より  $A = D$  であるので

$$\frac{a}{2R} = \sin D = \sin A \Leftrightarrow \frac{a}{\sin A} = 2R$$

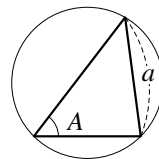
同様に、 $\frac{b}{\sin B} = 2R$ ,  $\frac{c}{\sin C} = 2R$  も成り立つ。これらの等式を、**正弦定理** (sine theorem) という。



正弦定理では、頻繁に複分数 (p.149) の計算を必要とするので、よく練習しよう。

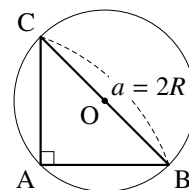
**【例題 56】**  $\triangle ABC$  の外接円の半径を  $R$  とする。以下の間に答えなさい。

- $a = 4$ ,  $\sin A = \frac{1}{3}$  のとき、 $R$  を求めよ。
- $a = \sqrt{7}$ ,  $A = 30^\circ$  のとき、 $R$  を求めよ。
- $a = \sqrt{6}$ ,  $A = 60^\circ$  のとき、 $R$  を求めよ。



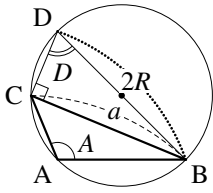
### B. 直角三角形・鈍角三角形の正弦定理

$A$  が直角のときは  $\sin A = \sin 90^\circ = 1$  である。また、 $a = 2R$  である。つまり  $\frac{a}{\sin A} = 2R$  は両辺とも  $a$  と一致し成立する。



\*14 外心は3辺の垂直二等分線の交点に一致する。詳しくは、数学 A で扱う。





A が鈍角のとき、左図のように  $\triangle ABC$  の外接円に直径  $BD$  を引くと

$$\begin{aligned} A &= \angle DAC + \angle DAB \\ &= \angle DBC + \angle DCB && \text{(いずれも、円周角の定理)} \\ &= 180^\circ - D && \text{(\triangle DCB に着目)} \end{aligned}$$

である\*15)ので、『 $180^\circ - \theta$ の三角比』(p.170)から、 $\sin A = \sin(180^\circ - D) = \sin D$  とわかる。

直角三角形  $\triangle DBC$  について  $\sin D = \frac{a}{2R}$  であるから、次のようにして正弦定理が示される。

$$\sin A = \sin D = \frac{a}{2R} \Leftrightarrow \frac{a}{\sin A} = 2R$$

### C. 正弦定理のまとめ

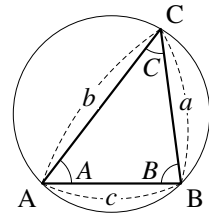
3つの等式  $\frac{a}{\sin A} = 2R$ ,  $\frac{b}{\sin B} = 2R$ ,  $\frac{c}{\sin C} = 2R$  から、次のようにまとめることができる。

$\triangle ABC$  の外接円の半径  $R$  について

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$$

が成り立つ。特に、辺と角について次の3つの式が成り立つ。

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}, \quad \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}, \quad \frac{c}{\sin C} = \frac{a}{\sin A}$$



正弦定理

#### 【例題 57】

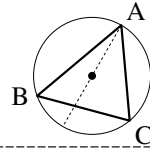
- $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$  を  $a$  について解け。また、 $\sin A = \frac{1}{3}$ ,  $b = 6$ ,  $\sin B = \frac{2}{5}$  のとき、 $a$  の値を求めよ。
- $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B}$  を  $\sin A$  について解け。また、 $a = 2$ ,  $b = 3$ ,  $\sin B = \frac{3}{7}$  のとき、 $\sin A$  の値を求めよ。

\*15 一般に、円に内接する四角形においては、向かい合う2角の和は  $180^\circ$  となる (p.188)。詳しくは、数学 A でも取り扱われる。

【暗記 58：正弦定理の証明】

右図について、円の半径を  $R$  とする。

$b = 2R \sin B$  を証明しなさい。



…… 等式  $\frac{b}{\sin B} = 2R$  を確認できるようにしよう。

## 5. 三角形の決定 (2)

### A. 三角形の決定条件・その3～1辺とその両端の角が与えられた場合

1辺とその両端の角が与えれば、三角形はただ1つに決定し、残りの辺の長さ、角度またはその余弦を求められる。これは、三角形の合同条件「1辺とその両端の角が等しい(2角夾辺相等)」に対応している。

#### 【練習 59：正弦定理の利用～その2～】

- (1)  $\triangle ABC$  において、 $c = 12$ 、 $C = 45^\circ$ 、 $A = 60^\circ$  のとき、 $a$  の値と、 $\triangle ABC$  の外接円の半径を求めよ。
- (2)  $\triangle ABC$  において、 $b = 7$ 、 $B = 60^\circ$ 、 $c = 6$  のとき、 $\sin C$  の値と、 $\triangle ABC$  の外接円の半径を求めよ。

…… 正弦定理から4つのことが分かる。上のように辺の長さを求めること、角の(正弦の)大きさを求めること、さらに、外接円の半径を求めること (p.178) と、正弦の比と辺の比が等しいこと (p.182) である。

## B. 三角形の決定条件・その4～2辺とその間でない角が与えられた場合

p.177でも取り上げた、2辺とその間でない角が与えられた場合を再び考えよう。

### 【練習 60 : 2 辺とその間でない角が与えられた場合】

(1)  $A = 30^\circ$ ,  $a = \sqrt{2}$ ,  $b = 2$  である三角形を考えよう。正弦定理を用いて,  $B = \boxed{\text{ア}}$ ,  $\boxed{\text{イ}}$  ( $\text{ア} < \text{イ}$ ) とわかる。一方, 余弦定理を用いて,  $c = \boxed{\text{ウ}}$ ,  $\boxed{\text{エ}}$  ( $\text{ウ} < \text{エ}$ ) とわかる。

ここで,  $B = \boxed{\text{ア}}$ ,  $\boxed{\text{イ}}$  のときの図をそれぞれ描けば,  $B = \boxed{\text{オ}}$  のときの方が  $c$  が大きいので,  $B = \boxed{\text{ア}}$  ならば  $c = \boxed{\text{カ}}$ ,  $B = \boxed{\text{イ}}$  ならば  $c = \boxed{\text{キ}}$  とわかる。

(2)  $A = 45^\circ$ ,  $a = 2$ ,  $b = \sqrt{2}$  である三角形を考えよう。

正弦定理を用いると  $B$  の値は 2 つ求められるが, このうち  $B = \boxed{\text{ク}}$  のみ適する。

実際, 余弦定理を用いると  $c$  の値は 2 つ求められるが, このうち  $c = \boxed{\text{ケ}}$  のみ適している。

### C. 正弦の比と辺の比

#### 【発展 61：正弦定理と正弦の比】

△ABC において、 $\sin A : \sin B : \sin C = 2 : 4 : 5$  であるとき、次の問いに答えよ。

- ① 3 辺の長さの比  $a : b : c$  を求めよ。                      ②  $\cos A$  を求めよ。



① から分かるように、 $a : b : c = \sin A : \sin B : \sin C$  である。また、② で計算できたように、3 辺の比さえ分かれば 3 角の大きさは決定される。



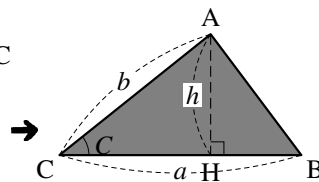
## 3.4 平面図形の計量



### 1. 三角形の面積と三角比

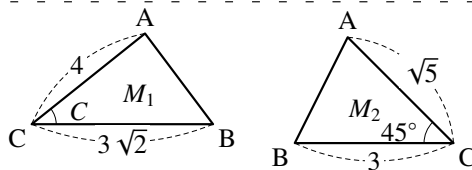
右図において △ACH に着目すれば  $h = AH = b \sin C$  であるので、△ABC の面積は次のように計算できる。

$$\Delta ABC = \frac{1}{2} ah = \frac{1}{2} a \cdot b \sin C = \frac{1}{2} ab \sin C$$



#### 【例題 62】

- 右の三角形  $M_1$  の角  $C$  について、 $\sin C = \frac{\sqrt{5}}{3}$  であるという。  $M_1$  の面積を求めよ。
- 左の三角形  $M_2$  の面積を求めよ。

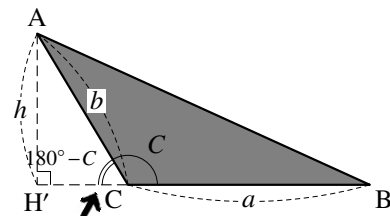


$\angle A$  が鈍角の場合も、 $\triangle ACH'$  に着目して

$$h = b \sin(180^\circ - C) = b \sin C$$

である (『 $180^\circ - \theta$  の三角比』 (p.170) を用いた) ので、

$$\triangle ABC = \frac{1}{2}ah = \frac{1}{2}ab \sin C$$

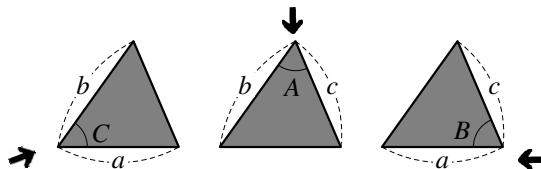


と計算でき、同じ式を得る。また、 $\theta = 90^\circ$  の直角三角形の場合も同じ式が成り立つと分かる。

上の面積の公式は、角  $C$  から見て得られた。角  $A, B$  から見た場合も同様の公式が得られる。

### 三角形の面積

三角形の面積  $S$  は、 $S = \frac{1}{2}ab \sin C = \frac{1}{2}bc \sin A = \frac{1}{2}ca \sin B$  で求めることができる。

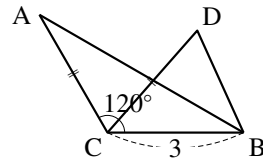


2 辺の長さとして、その間の角の  $\sin$  を掛けて、 $\frac{1}{2}$  倍すると面積になる、と理解すればよい。

### 【練習 63 : 三角形の面積～その 1～】

右の図形において、 $AC = DC = \sqrt{7}$  とする。

- (1)  $\triangle ACB$  の面積を求めよ。
- (2)  $\sin \angle DCB = \frac{3}{4}$  のとき、 $\triangle DCB$  の面積を求めよ。

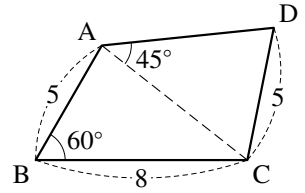


$\frac{1}{2}$  を掛け忘れないよう注意しよう。特に、発展で学ぶ『ヘロンの公式 (p.185)』と区別すること。

【練習 64 : 四角形の計量】

四角形 ABCD において、 $AB = 5$ 、 $BC = 8$ 、 $CD = 5$ 、 $\angle ABC = 60^\circ$ 、 $\angle CAD = 45^\circ$  のとき、次の問に答えよ。

- (1) AC の長さを求めよ。
- (2) AD の長さを求めよ。
- (3) 四角形 ABCD の面積を求めよ。

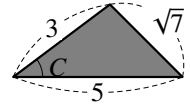


【練習 65 : 三角形の面積～その 2～】

右図の三角形について、以下の問いに答えよ。

(1)  $\cos C$  を求めよ。

(2) 三角形の面積  $S$  を求めよ。



【発展 66 : ヘロンの公式】

三角形の 3 辺の長さを  $a, b, c$  とし、 $s = \frac{a+b+c}{2}$  とおくと、面積  $S$  は  $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$  に等しくなる。これをヘロンの公式という。この公式を用いて、以下の問いに答えなさい。

- ① 3 辺の長さが 5, 3, 6 である三角形の面積  $S_1$ 、4, 3, 2 である三角形の面積  $S_2$  を求めよ。
- ② 3 辺の長さが 5, 3,  $\sqrt{7}$  である三角形の面積  $S_3$  を求めよ。



3 辺の長さがすべて整数の時は、「ヘロンの公式」を用いると面積の計算が特に簡単になる。

「ヘロンの公式」の証明は p.206 を参考のこと。自分で導こうとするとよい練習になる。

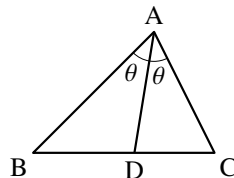
## 2. 平面図形の重要な問題・定理

### A. 角の2等分線

【暗記 67: 角の2等分線の定理】

$AB = 4$ ,  $AC = 3$  の  $\triangle ABC$  において,  $\angle A$  の2等分線と辺  $BC$  との交点を  $D$  とする.

1.  $BD : DC$  を求めよ.
2.  $BC = \sqrt{21}$  のとき,  $AD$  の長さを求めよ.



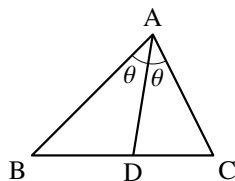
#### 角の2等分線の定理

$\triangle ABC$  において,  $\angle A$  の2等分線と辺  $BC$  との交点を  $D$  とするとき

$$\triangle ABD : \triangle ADC = \frac{1}{2} AB \cdot AD \sin \theta : \frac{1}{2} AC \cdot AD \sin \theta \text{ (「面積の公式」より)}$$

$$\triangle ABD : \triangle ADC = BD : DC \text{ (底辺の比より)}$$

から,  $AB : AC = BD : DC$  が成り立つ.



つまり, 角の2等分線においては, 上の2辺の比と下の線分の比が一致する.



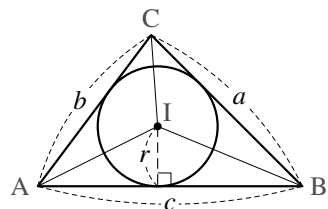
## B. 内接円の半径

### 【暗記 68 : 内接円の半径を求める】

三角形の3つの辺すべてに接する円を、その三角形の**内接円** (inscribed circle) という。1つの三角形に対し、内接円は1つに定まる\*16。

$b = 4, c = 5, A = 60^\circ$  である  $\triangle ABC$  について、内接円の半径を  $r$  とする。

1.  $a$  の値を求めよ。
2.  $\triangle ABC$  の面積を求めよ。
3.  $\triangle ABC$  の内接円の半径を求めよ。

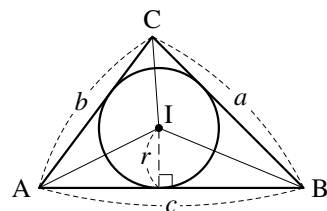


### 三角形の内接円と面積の関係

三角形の面積  $S$  は、内接円の半径  $r$  を用いて

$$\begin{aligned} S &= \triangle BCI + \triangle CAI + \triangle ABI \\ &= \frac{1}{2}r(a+b+c) \end{aligned}$$

と表すことができる。ここで  $a, b, c$  は各辺の長さを表す。

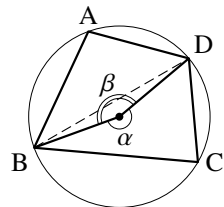


この公式は、必要なときに導くことができれば十分である。ただし、三角形とその内接円を見たら「三角形の面積は計算できる」と連想できるようにしよう。

\*16 内接円については、数学 A で詳しく取り扱う。

### C. 円に内接する四角形

四角形 ABCD が円に内接しているとき、右のように  $\alpha, \beta$  をおくと、中心角は円周角の 2 倍なので



$A$  は右欄外の図の  $\frac{1}{2}\alpha$  と等しく、 $C$  は右欄外の図の  $\frac{1}{2}\beta$  と等しい。

よって、 $A + C = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) = 180^\circ$ <sup>\*17</sup>、さらに『 $180^\circ - \theta$  の三角比』(p.170) から以下が導かれる。

円に内接する四角形の向かい合う角

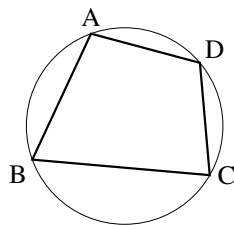
円に内接する四角形において、以下が成立する。

- $A + C = 180^\circ$  ( $\Leftrightarrow \angle A = (\angle C$  の外角))

さらに、『 $180^\circ - \theta$  の三角比』(p.170) を用いて

- $\cos A = -\cos C$  ( $\cos A = -\cos(180^\circ - A)$  より)
- $\sin A = \sin C$  ( $\sin A = \sin(180^\circ - A)$  より)

$B, D$  についても同様である<sup>\*18</sup>。



☞ 四角形が円に内接している場合は、たいてい、次の関係のうちいくつかを使う。

- 円周角の定理
- 中心角が円周角の 2 倍(特に、直径に対する円周角は  $90^\circ$ )
- 上で学んだ、向かい合う角の関係

**【例題 69】** 四角形 ABCD は  $AB = 3, BC = 4, CD = 3, B = 60^\circ$  であり、円に内接している。

1. 対角線 AC の長さを求めよ。
2. 辺 AD の長さを求めよ。

<sup>\*17</sup> 『正弦定理』(p.179) の証明 iii) の中で、別の方法で証明した。

<sup>\*18</sup> つまり、 $\cos B = -\cos D, \sin B = \sin D$  が成り立つ。

【暗記 70 : 円に内接する四角形】

円に内接する四角形  $ABCD$  において,  $AB = 4$ ,  $BC = 5$ ,  $CD = 3$ ,  $DA = 3$  とする.

1. 対角線  $BD$  の長さを求めよ.
2. 四角形  $ABCD$  の面積を求めよ.

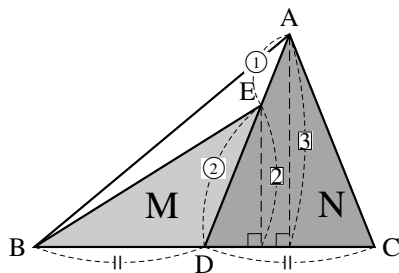
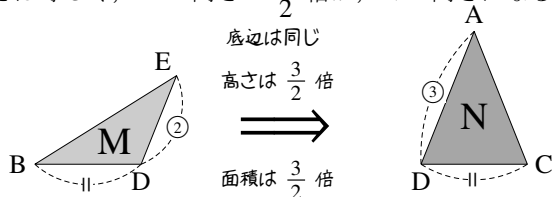
### 3. 平面図形の面積比

#### A. 相似でない2つの三角形の面積比

面積比を求めるときには、どこを底辺におくかが重要である。

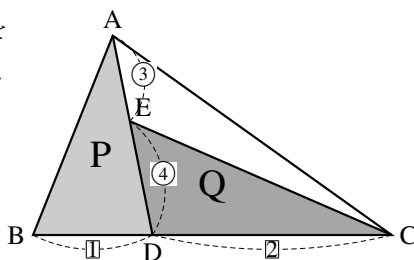
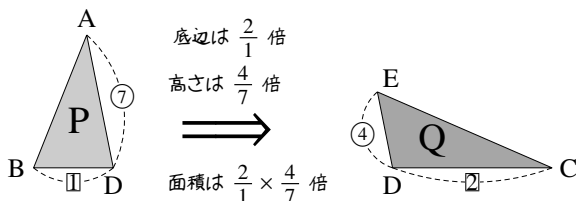
まず、右の三角形 M, N の面積比を考えてみよう。

M の底辺を BD, N の底辺を CD とおけば、M, N の底辺の長さは等しく、M の高さの  $\frac{3}{2}$  倍が、N の高さになる。



つまり、M の面積を  $\frac{3}{2}$  倍すると N の面積に等しいと分かるから、M, N の面積比は 2 : 3 である。

次に、右の三角形 P, Q の面積比を考えてみよう。P の底辺を BD, Q の底辺を CD とすると、次のようにまとめることができる。



P の面積を  $\frac{2}{1} \times \frac{4}{7} = \frac{8}{7}$  倍すると Q の面積に等しいと分かるから、P, Q の面積比は 8 : 7 である。

#### 【練習 71 : 平面図形の線分の比】

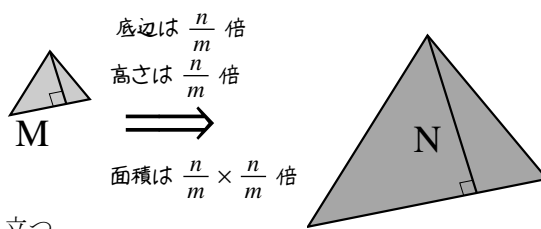
$\square ABCD$  において、辺 BC 上に E を、辺 CD 上に F をとり、 $BE : EC = 1 : 2$ ,  $DF : FC = 2 : 1$  とする ( $\square$  は「平行四辺形」を表す)。

- (1)  $\triangle FEC$  と  $\triangle DEC$  の面積比を求めよ。
- (2)  $\triangle FBC$  と  $\triangle DEC$  の面積比を求めよ。
- (3)  $\triangle FEC$  と  $\square ABCD$  の面積比を求めよ。

## B. 相似な平面図形の面積比

相似比が  $m : n$  である、2 つの三角形の面積比を考えると右のようになる。つまり、M の面積を  $\frac{n}{m} \times \frac{n}{m} = \left(\frac{n}{m}\right)^2$  倍すると N の面積に等しいと分かり、M, N の面積比は  $1 : \left(\frac{n}{m}\right)^2 = m^2 : n^2$  である。

一般に、どんな平面図形においても、次のことが成り立つ。

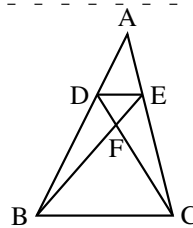


相似な平面図形の面積比

相似比が  $m : n$  である 2 つの平面図形について、その面積比は  $m^2 : n^2$  である。

**【例題 72】** 右の図において、 $AD : DB = 1 : 2$ 、 $AE : EC = 1 : 2$  であるとする。

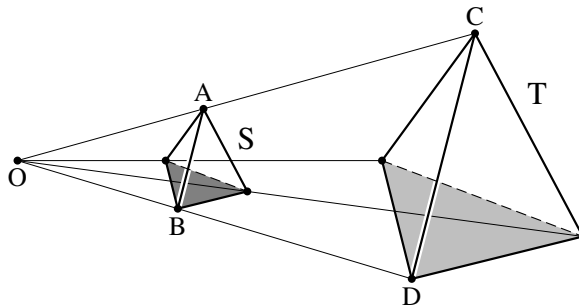
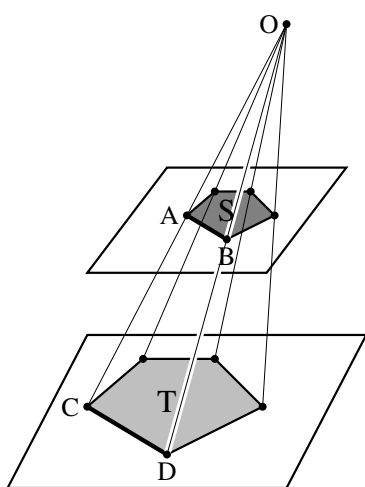
1. 相似な三角形の組を 2 つ見つけ(証明は無くてもよい)、それぞれについて面積の比を求めよ。
2.  $\triangle DEF$  と  $\triangle DBF$  の面積比を求めよ。
3.  $\triangle DEF$  と  $\triangle ABC$  の面積比を求めよ。



## 1. 空間図形の表面積比・体積比

### A. 空間における相似について

2つの図形が相似 (similar) であるとは、「一方の図形を、ある1点に対して拡大・縮小すれば、他方の図形と合同になる」関係のことをいった。この定義は、空間内における相似にも当てはまる。



相似な二つの図形の、対応する辺の長さの比を**相似比** (ratio of similitude) という。

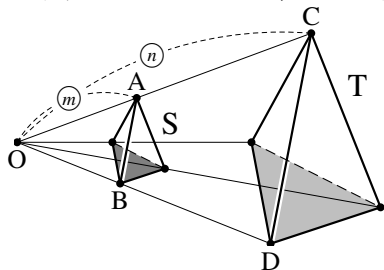
たとえば、上の図において、図形 S と図形 T はいずれも相似である。また、S と T の相似比はいずれも  $AB : CD$  に等しい。

**【例題 73】** 以下の、相似に関する文章は正しいか、間違いか答えなさい。

1. どのような2つの正方形も、相似である。
2. どのような2つの円も、相似である。
3. どのような2つの直方体も、相似である。
4. 2つの立体 S と T が相似ならば、S の表面と T の表面は互いに相似である。

## B. 相似な空間図形の表面積・体積の比

相似比が  $m:n$  である, 2つの相似な三角錐  $S, T$  について, 表面積比と体積比を考えてみよう.



p.4 で考えたように, 2つの立体が相似ならば, その表面の図形は互いに相似である.

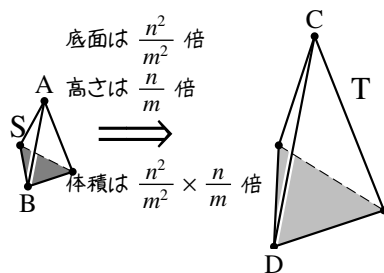
左の  $S$  と  $T$  の場合,  $S$  の4つの表面の図形の面積を  $S_1, S_2, S_3, S_4$  とおけば,  $T$  の4つの表面の図形の面積は  $\frac{n^2}{m^2}S_1, \frac{n^2}{m^2}S_2, \frac{n^2}{m^2}S_3, \frac{n^2}{m^2}S_4$  となるので, 次のように分かる.

$$\begin{aligned} (S \text{ の表面積}) : (T \text{ の表面積}) &= (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) : \left\{ \frac{n^2}{m^2}(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \right\} \\ &= 1 : \left( \frac{n^2}{m^2} \right) = m^2 : n^2 \end{aligned}$$

次に体積比を考えよう.

上で考えたように,  $S$  の底面積の  $\frac{n^2}{m^2}$  倍が  $T$  の底面積になる.

また,  $S$  の高さの  $\frac{n}{m}$  倍が  $T$  の高さになるから,  $S$  の体積を  $\frac{n^2}{m^2} \times \frac{n}{m} = \frac{n^3}{m^3}$  倍すると  $T$  の体積に等しい\*19. よって,  $S, T$  の体積比は  $m^3 : n^3$  である.



一般に, どんな空間図形においても, 次のことが成り立つ.

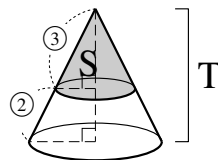
### 相似な立体図形の表面積比・体積比

相似比が  $m:n$  である2つの立体図形について,

- (1) それぞれの表面をなす図形は相似であり, その相似比は  $m:n$  である.
- (2) 表面積比は  $m^2:n^2$  である.
- (3) 体積比は  $m^3:n^3$  である.

**【例題 74】** 右図のような円錐  $T$  を切り, 上にできた円錐を  $S$  とする.

1.  $S$  と  $T$  は相似である. 相似比を求めよ.
2.  $S$  と  $T$  の表面積比を求めよ.
3.  $T$  から  $S$  を除いた図形を  $U$  とする.  $S$  と  $U$  の体積比を求めよ.



\*19 この例では, 体積が  $\frac{1}{3} \times (\text{底面積}) \times (\text{高さ})$  で求められるから分かる.

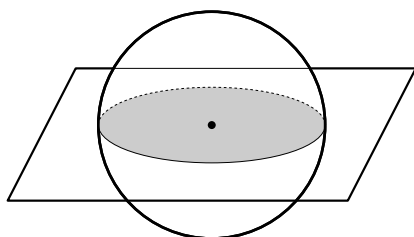
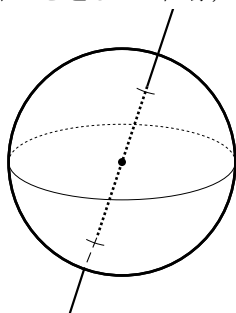
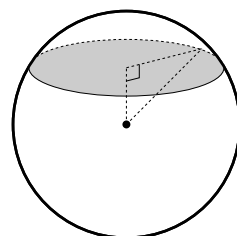
## 2. 球

円を空間に広げたものが球、と考えてよい。

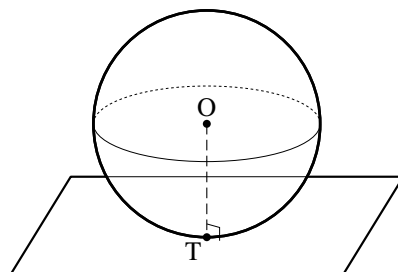
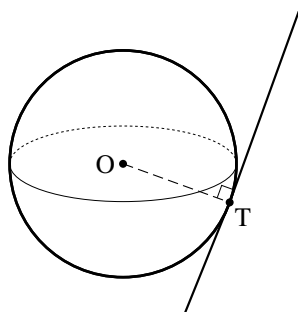
球は、最も美しい図形の1つとして、古来から人々の興味を惹いてきた。

球には以下の性質がある。

- 球を平面で切れば、その切り口は必ず円である。
- 中心を通るどの直線、平面に対しても、球は対称である。



- $O$  を中心とする球が、球面上の点  $T$  で平面・直線と接するとき、直線  $OT$  はその平面・直線と直交する。



これらは、球の定義<sup>\*20</sup>と三平方の定理から証明することができる（ここでは省略する）。

<sup>\*20</sup> 「点  $O$  を中心とする半径  $r$  の球」は「点  $O$  から距離  $r$  にある空間上の点を全て集めてできる図形」と定義できる。また、数学  $B$  において球面の方程式を学ぶ。



## A. 球の表面積と体積

半径  $r$  の球の体積，表面積は次のようになる\*21.

球の表面積・体積

半径  $r$  の球について，表面積は  $4\pi r^2$ ，体積は  $\frac{4}{3}\pi r^3$  である.



「表面積を表す  $4\pi r^2$  の  $r^2$  を  $\frac{r^3}{3}$  におきかえると，体積を表す  $\frac{4}{3}\pi r^3$  になる」と覚えると良い.

### 【練習 75：球の表面積，体積】

- (1) 半径 4 cm の球の，表面積と体積をそれぞれ求めよ.
- (2) 1 辺 8 cm の立方体の表面積と直径 10 cm の球の表面積では，どちらが大きいか.
- (3) 1 辺 10 cm の立方体に高さ 9 cm まで水を入れてある．この水の中に半径 3 cm の球を静かに入れると，何  $\text{cm}^3$  の水があふれるか．ただし，表面張力は考えない.

\*21 数学 III の微積分を用いて，これらの計算ができる．体積については，次の(発)展のようにして計算できる.

### 3. 空間図形と三角比

空間図形の問題は、特定の平面を取り出し、平面図形の問題として考えてみよう。

#### A. 直角が1つの頂点に集まった四面体

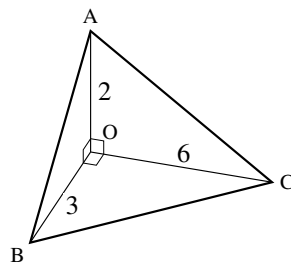
四面体の頂点の1つに、2つ以上直角を含む場合は比較的簡単である。図形を切ることなく、どれかの面を取り出して考えればたいていうまくいくからである\*22。

1つの頂点に直角が3つ集まった三角錐のことを**直角三角錐** (rectangular triangular pyramid) という。

##### 【練習 76：直角三角錐の計量】

右の図のように、 $\angle AOB = \angle BOC = \angle COA = 90^\circ$  の直角三角錐  $OABC$  において、次の間に答えよ。ただし、 $OA = 2$ 、 $OB = 3$ 、 $OC = 6$  とする。

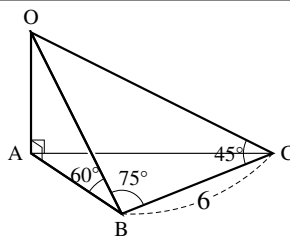
- (1) 辺  $AB$ 、 $BC$ 、 $CA$  の長さをそれぞれ求めよ。
- (2)  $\angle ACB = \theta$  とするとき、 $\cos \theta$  の値を求めよ。
- (3)  $\triangle ABC$  の面積  $S$  を求めよ。



##### 【練習 77：三角錐の計量】

右図のような三角錐  $OABC$  において、次の間に答えよ。

- (1) 辺  $OB$  の長さを求めよ。
- (2) 辺  $OC$  の長さを求めよ。
- (3) 辺  $AC$  の長さを求めよ。
- (4)  $\angle ABC = \theta$  とするとき、 $\cos \theta$  の値を求めよ。



\*22 平面に対し、異なる2方向から直角である線分は、平面に対し垂線になっていることに注意すればよい。

【**発展** 78 : 山の高さを求める】

ある山から真北の地点 A と、真東の地点 B があり、この 2 点は 4 km 離れており、共に標高 200 m である。地点 A から山の頂上を見上げると  $45^\circ$  の高さであった。次に、地点 B から山の頂上を見上げると  $30^\circ$  の高さであった。この山の高さは何 km か。

## B. 正多面体

空間図形において、全ての面が合同な正多角形からなり、各頂点に集まる辺の数が全て等しい多面体のことを**正多面体** (regular polyhedron) という\*23.

正多面体は、次の5つしかない。

正四面体, 正六面体(立方体), 正八面体, 正十二面体, 正二十面体

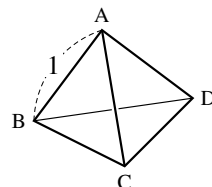


正多面体にはたくさんの二等辺三角形がある。それを上手に生かした切り口を考えよう。

### 【練習 79：正四面体の計量】

右下図のように、1 辺の長さが 1 である正四面体 ABCD について以下の間に答えよ。

- (1)  $\triangle BCD$  の面積  $S$  を求めよ。
- (2) 頂点 A から  $\triangle BCD$  に下ろした垂線の長さを求めよ。
- (3)   正四面体 ABCD に内接する球の半径を求めよ。
- (4)   正四面体 ABCD に外接する球の半径を求めよ。



\*23 たとえば、正四面体は正多面体であるが、正四面体 2 つを重ねてできる六面体は、頂点に集まる辺の数が 3 つの場合と 4 つの場合があるので、正多面体ではない。



### C. 正多角錐

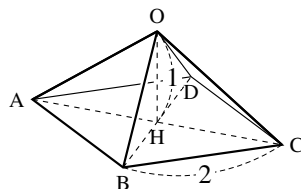
角錐のうち、底面が正多角形で、側面が二等辺三角形で作られ、側面の頂点が一点に集まっている多面体のことを**正多角錐** (regular pyramid) という (正角錐ともいう)。底面が正  $n$  角形の正多角錐のことを正  $n$  角錐といい、 $n$  は 3 以上の自然数をとる。

正多角錐においては、頂点からの垂線の足が、底面の中心 (対角線の交点) にくる。よって、底面の対角線を通る平面などに着目するとよい。

#### 【練習 80 : 正四角錐の計量】

右図のように、底面の 1 辺の長さが 2、高さ  $\text{OH}$  が 1 である正四角錐  $\text{OABCD}$  について以下の問に答えよ。

- (1)  $\text{AB}$  の中点を  $\text{M}$  とするとき、 $\angle\text{OMH}$  を求めよ。
- (2)  $\text{A}$  から辺  $\text{OB}$  に下ろした垂線  $\text{AE}$  の長さを求めよ。
- (3) 辺  $\text{OB}$  の中点を  $\text{E}$  とするとき、 $\angle\text{AEC}$  を求めよ。



(1) の  $\angle\text{OMH}$  は底面と側面のなす角に、(3) の  $\angle\text{AEC}$  は側面と側面のなす角に一致している。

#### D. 球を含んだ空間図形

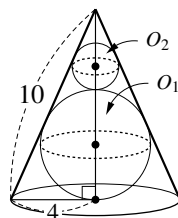
空間図形に球を含む場合は、「球の中心と、球と他の図形の共有点」を結んだ平面に着目するとよい。

##### 【練習 81：円錐と内接球】

底面の半径が 4，母線の長さが 10 の円錐がある。

- (1) この円錐に内接する球  $O_1$  の半径を求めよ。
- (2) 球  $O_1$  の上に外接し，さらに円錐に内接する球  $O_2$  の半径を求めよ。

ただし，球  $O_1$ ， $O_2$  とも，半径はできるだけ大きくなるようにする。



別解では断面が相似であることを使っているが，2つの断面図のもとになる立体をそれぞれ考えても，やはり互いに相似である。

1. 36°, 72° などの三角比

A. 36°, 72°, 72° の三角形を考える

18° に関する三角比を考えるため、まず、右図の二等辺三角形 ABC について BC, AC の長さを求めよう\*24。

ここで、右図の奥のように ∠A の 2 等分線と辺 BC の交点を D とする。このとき、

$$\angle DAC = \angle DCA = 36^\circ$$

より △DAC は二等辺三角形になる。また

$$\angle ADB = \angle ABD = 72^\circ$$

より △ABD も二等辺三角形になる。これらより、 $CD = AD = AB = 1$  が成り立つ。

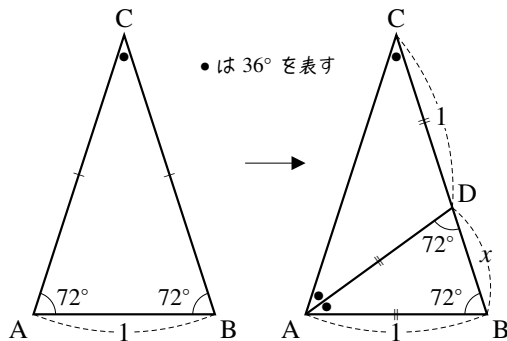
さらに、△CAB の △ABD であるから、 $CB : AB = AB : BD$  が成り立つ。よって、 $AB^2 = CB \times BD$  であるので、 $BD = x$  とおくと

$$1 \times 1 = (1 + x) \times x \Leftrightarrow x^2 + x - 1 = 0$$

$x > 0$  であるから、解の公式より  $BD = \frac{\sqrt{5} - 1}{2}$  と求められる。これより

$$BC = BD + 1 = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} + 1 = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}$$

となる。また、 $AC = BD = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}$  である。



B. 36° の三角比とその周辺

△ACD に着目し、右図のように、点 D から辺 AC へ垂線 DH を引く。直角三角形 DCH に、余弦の定義を用いて

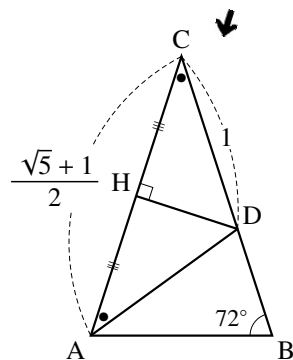
$$\cos 36^\circ = \frac{CH}{DC} = \frac{\frac{1}{2}CA}{1} = \frac{\sqrt{5} + 1}{4}$$

さらに、三角比の相互関係  $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$  を用いて

$$\sin^2 36^\circ = 1 - \cos^2 36^\circ = 1 - \left(\frac{\sqrt{5} + 1}{4}\right)^2 = 1 - \frac{6 + 2\sqrt{5}}{16} = \frac{10 - 2\sqrt{5}}{16}$$

であり、 $\sin 36^\circ > 0$  であるから、 $\sin 36^\circ = \frac{\sqrt{10 - 2\sqrt{5}}}{4}$  である。

また、これらより  $\tan 36^\circ = \frac{\sin 36^\circ}{\cos 36^\circ} = \frac{\sqrt{10 - 2\sqrt{5}}}{1 + \sqrt{5}} = (\text{計算省略}) = \sqrt{5 - 2\sqrt{5}}$  である。



\*24 18° に関する三角比を求めるためには、AB の長さはいくつでもよい。ここでは、考えやすくするため 1 とした。



【練習 82 :  $36^\circ$  とその周辺の三角比】

$\sin 36^\circ = \frac{\sqrt{10-2\sqrt{5}}}{4}$ ,  $\cos 36^\circ = \frac{\sqrt{5}+1}{4}$ ,  $\tan 36^\circ = \sqrt{5-2\sqrt{5}}$  を利用して次の三角比の値を求めよ.

(1)  $\sin 54^\circ$ ,  $\cos 54^\circ$ ,  $\tan 54^\circ$

(2)  $\sin 126^\circ$ ,  $\cos 126^\circ$ ,  $\tan 126^\circ$

(3)  $\sin 144^\circ$ ,  $\cos 144^\circ$ ,  $\tan 144^\circ$

### C. $72^\circ$ の三角比とその周辺

今度は  $\triangle ABD$  に着目し、右図のように、点 A から辺 BD へ垂線  $AH'$  を引く。直角三角形  $ABH'$  に、余弦の定義を用いて

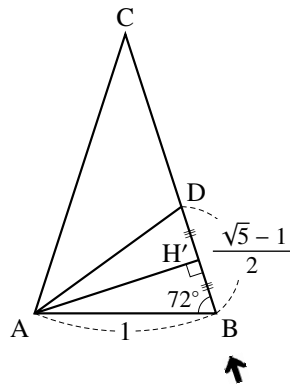
$$\cos 72^\circ = \frac{BH'}{AB} = \frac{\frac{1}{2}BD}{1} = \frac{\sqrt{5}-1}{4}$$

さらに、三角比の相互関係  $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$  を用いて

$$\sin^2 72^\circ = 1 - \cos^2 72^\circ = 1 - \left(\frac{\sqrt{5}-1}{4}\right)^2 = 1 - \frac{6-2\sqrt{5}}{16} = \frac{10+2\sqrt{5}}{16}$$

であり、 $\sin 72^\circ > 0$  であるから、 $\sin 72^\circ = \frac{\sqrt{10+2\sqrt{5}}}{4}$  である。

また、これらより  $\tan 72^\circ = \frac{\sin 72^\circ}{\cos 72^\circ} = \frac{\sqrt{10+2\sqrt{5}}}{\sqrt{5}-1} = (\text{計算省略}) = \sqrt{5+2\sqrt{5}}$  である。



#### 【練習 83 : $72^\circ$ とその周辺の三角比】

$\sin 72^\circ = \frac{\sqrt{10+2\sqrt{5}}}{4}$ ,  $\cos 72^\circ = \frac{\sqrt{5}-1}{4}$ ,  $\tan 72^\circ = \sqrt{5+2\sqrt{5}}$  を利用して次の三角比を求めよ。

(1)  $\sin 18^\circ$ ,  $\cos 18^\circ$ ,  $\tan 18^\circ$

(2)  $\sin 108^\circ$ ,  $\cos 108^\circ$ ,  $\tan 108^\circ$

(3)  $\sin 162^\circ$ ,  $\cos 162^\circ$ ,  $\tan 162^\circ$

## 2. 第1余弦定理

三角形の2つの角と2辺の長さの間に次の関係式が成り立つ.

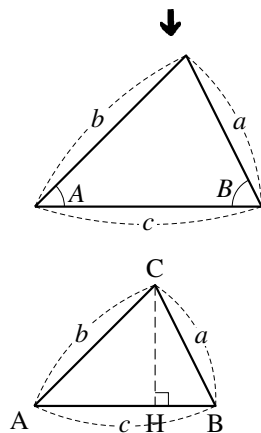
$$c = b \cos A + a \cos B$$

これを、**第1余弦定理** (first cosine theorem) という.

$A$  が鋭角のときは、線分  $AB$  上に垂線  $CH$  をひいて ( $A$  が直角の時は  $H$  と  $A$  が一致する)

$$(\text{右辺}) = b \cos A + a \cos B = AH + BH = AB = c = (\text{左辺})$$

となり成立する ( $A$  が直角の時は  $a \cos A = 0$  なので  $AH = 0$ ).



### 【暗記 84 : 第1余弦定理の導出】

上の続きとして、 $A$  が鈍角のときも第1余弦定理が成り立つことを証明せよ.

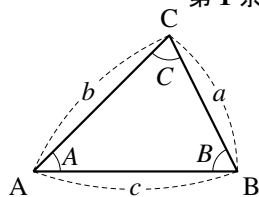
### 第1余弦定理

$\triangle ABC$  において次の等式が成り立つ.

$$c = b \cos A + a \cos B$$

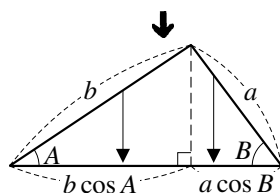
$$b = a \cos C + c \cos A$$

$$a = c \cos B + b \cos C$$



この定理は、ある角から見たときに左右2つの辺を向かいの辺に押しつぶす感じで覚えると良い.

また、上の暗記例題のように自分で垂線の引けるならば、公式を覚えなくてもよい.



### 3. ヘロンの公式の証明

【発展 85 : ヘロンの公式の導出】

3 辺の長さが  $a, b, c$  である三角形について、以下の問いに答えなさい。

- ① 長さ  $c$  の辺の対角  $C$  について、 $\sin C$  を  $a, b, c$  で表せ。式は整頓しなくてよい。
- ②  $s = \frac{a+b+c}{2}$  としたとき、三角形の面積  $S$  が  $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$  に等しいことを示せ。

## 三角比の表

角	cos	sin	tan	角	cos	sin	tan
0°	1.0000	0.0000	0.0000	46°	0.6947	0.7193	1.0355
1°	0.9998	0.0175	0.0175	47°	0.6820	0.7314	1.0724
2°	0.9994	0.0349	0.0349	48°	0.6691	0.7431	1.1106
3°	0.9986	0.0523	0.0524	49°	0.6561	0.7547	1.1504
4°	0.9976	0.0698	0.0699	50°	0.6428	0.7660	1.1918
5°	0.9962	0.0872	0.0875	51°	0.6293	0.7771	1.2349
6°	0.9945	0.1045	0.1051	52°	0.6157	0.7880	1.2799
7°	0.9925	0.1219	0.1228	53°	0.6018	0.7986	1.3270
8°	0.9903	0.1392	0.1405	54°	0.5878	0.8090	1.3764
9°	0.9877	0.1564	0.1584	55°	0.5736	0.8192	1.4281
10°	0.9848	0.1736	0.1763	56°	0.5592	0.8290	1.4826
11°	0.9816	0.1908	0.1944	57°	0.5446	0.8387	1.5399
12°	0.9781	0.2079	0.2126	58°	0.5299	0.8480	1.6003
13°	0.9744	0.2250	0.2309	59°	0.5150	0.8572	1.6643
14°	0.9703	0.2419	0.2493	60°	0.5000	0.8660	1.7321
15°	0.9659	0.2588	0.2679	61°	0.4848	0.8746	1.8040
16°	0.9613	0.2756	0.2867	62°	0.4695	0.8829	1.8807
17°	0.9563	0.2924	0.3057	63°	0.4540	0.8910	1.9626
18°	0.9511	0.3090	0.3249	64°	0.4384	0.8988	2.0503
19°	0.9455	0.3256	0.3443	65°	0.4226	0.9063	2.1445
20°	0.9397	0.3420	0.3640	66°	0.4067	0.9135	2.2460
21°	0.9336	0.3584	0.3839	67°	0.3907	0.9205	2.3559
22°	0.9272	0.3746	0.4040	68°	0.3746	0.9272	2.4751
23°	0.9205	0.3907	0.4245	69°	0.3584	0.9336	2.6051
24°	0.9135	0.4067	0.4452	70°	0.3420	0.9397	2.7475
25°	0.9063	0.4226	0.4663	71°	0.3256	0.9455	2.9042
26°	0.8988	0.4384	0.4877	72°	0.3090	0.9511	3.0777
27°	0.8910	0.4540	0.5095	73°	0.2924	0.9563	3.2709
28°	0.8829	0.4695	0.5317	74°	0.2756	0.9613	3.4874
29°	0.8746	0.4848	0.5543	75°	0.2588	0.9659	3.7321
30°	0.8660	0.5000	0.5774	76°	0.2419	0.9703	4.0108
31°	0.8572	0.5150	0.6009	77°	0.2250	0.9744	4.3315
32°	0.8480	0.5299	0.6249	78°	0.2079	0.9781	4.7046
33°	0.8387	0.5446	0.6494	79°	0.1908	0.9816	5.1446
34°	0.8290	0.5592	0.6745	80°	0.1736	0.9848	5.6713
35°	0.8192	0.5736	0.7002	81°	0.1564	0.9877	6.3138
36°	0.8090	0.5878	0.7265	82°	0.1392	0.9903	7.1154
37°	0.7986	0.6018	0.7536	83°	0.1219	0.9925	8.1443
38°	0.7880	0.6157	0.7813	84°	0.1045	0.9945	9.5144
39°	0.7771	0.6293	0.8098	85°	0.0872	0.9962	11.4301
40°	0.7660	0.6428	0.8391	86°	0.0698	0.9976	14.3007
41°	0.7547	0.6561	0.8693	87°	0.0523	0.9986	19.0811
42°	0.7431	0.6691	0.9004	88°	0.0349	0.9994	28.6363
43°	0.7314	0.6820	0.9325	89°	0.0175	0.9998	57.2900
44°	0.7193	0.6947	0.9657	90°	0.0000	1.0000	なし
45°	0.7071	0.7071	1.0000				
角	cos	sin	tan	角	cos	sin	tan



これらの値を計算するには、大学で学習することになるテイラー展開（または、マクローリン展開）が必要となる。

# 索引

- の値
  - 関数, 69
- 1 次不等式, 54
- 因数, 29
- 因数分解, 29
- $n$  次式, 14
- 解
  - 1 次不等式の—, 54
  - 2 次不等式の—, 122
  - 2 次方程式の—, 61
- 外心, 178
- 外接円, 178
- 解の公式, 63
- 開平法, 48
- 角点, 161
- 関数, 69
- 既約分数, 3
- 共通因数, 29
- グラフ, 72
- 係数, 11
- 項, 13
- 降べきの順, 14
- コサイン, 147
- 最小値
  - 関数の, 70
- 最大値
  - 関数の, 70
- サイン, 147
- 座標軸, 71
- 座標平面, 71
- 三角比, 148
- 軸, 82
- 指数, 12
- 次数
  - 多項式の—, 14
  - 単項式の—, 11
- 指数法則, 12
- 始線, 161
- 自然数, 1
- 実数, 5
- 斜辺, 145
- 重解, 65
- 重根, 65
- 循環小数, 4
- 象限, 71
- 小数, 4
- 昇べきの順, 14
- 数直線, 2
- 正角錐, 200
- 正弦定理, 178
- 整式, 13
- 整数, 2
- 正多角錐, 200
- 正多面体, 198
- 接する, 113, 120
- 接点, 113, 120
- 相似, 192
- 相似比, 192
- 対辺, 145
- 多項式, 13
- たすきがけ, 34
- 単位円, 161
- 単項式, 11
- タンジェント, 146
- 値域, 70
- 稠密性, 4
- 頂点, 82
- 直角三角錐, 196
- 定義域, 70
- 定数, 71
- 定数項, 13
- 底辺, 145
- 展開, 16
- 動径, 161
- 同類項, 13
- 解く
  - 1 次不等式を—, 55
  - 2 次不等式を—, 122
  - 2 次方程式を—, 61
  - 連立 3 元 1 次方程式を—, 92
  - 連立不等式を—, 56
- 凸, 82
- 内接円, 187
- 2 次関数, 82
- 2 次不等式, 122
- 2 次方程式, 61
- 2 重根号, 33
- 背理法, 6
- 繁分数, 149
- 判別式
  - 2 次式の—, 118
  - 2 次方程式の—, 65
- 比, 3
- 複 2 次式, 40
- 複分数, 149
- 不等号, 52
- 不等式, 52
  - の移項, 55
  - の右辺, 52
  - の左辺, 52
  - の両辺, 52
- 平方, 12
- 平方完成, 87
- 変数, 69
- 方程式
  - 放物線の—, 83
- 放物線, 82
- 無限小数, 4
- 無理数, 5
- 約分, 3
- 有限小数, 4
- 有理化, 19
- 有理数, 3
- 余弦定理, 173
  - 第 1—, 205
  - 第 2—, 173
- 立方, 12
- 累乗, 12
- 連続性, 5
- 連立 3 元 1 次方程式, 92, 94
- 連立不等式, 56