メディア学大系

16

メディアのための数　学

数式を通じた現象の記述

渡辺 大地
松吉　　俊
大淵 康成
共著

コロナ社

メディア学大系 編集委員会

監　修

〈第 1 期〉

相 川 清 明（元東京工科大学，工学博士）
飯 田　　仁（元東京工科大学，博士（工学））

〈第 2 期〉

相 川 清 明（元東京工科大学，工学博士）
近 藤 邦 雄（元東京工科大学，工学博士）

〈第 3 期〉

大 淵 康 成（東京工科大学，博士（情報理工学））
柿 本 正 憲（東京工科大学，博士（情報理工学））

編集委員

稲 葉 竹 俊（元東京工科大学）
榎 本 美 香（東京工科大学，博士（学術））
太 田 高 志（東京工科大学，博士（工学））
大 山 昌 彦（東京工科大学）
菊 池　　司（東京工科大学，博士（工学））
榊　　俊 吾（東京工科大学，博士（社会情報学））
佐々木 和郎（元東京工科大学）
進 藤 美 希（東京工科大学，博士（経営管理））
寺 澤 卓 也（東京工科大学，博士（工学））
藤 澤 公 也（東京工科大学，博士（政策・メディア））
三 上 浩 司（東京工科大学，博士（政策・メディア））
渡 辺 大 地（東京工科大学，博士（工学））

（五十音順，2025 年 9 月現在）

「メディア学大系」刊行に寄せて

ラテン語の“メディア（中間・仲立ち）”という言葉は，16 世紀後期の社会で使われ始め，20 世紀前期には人間のコミュニケーションを助ける新聞・雑誌・ラジオ・テレビが代表する“マスメディア”を意味するようになった。また，20 世紀後期の情報通信技術の著しい発展によってメディアは社会変革の原動力に不可欠な存在までに押し上げられた。著名なメディア論者マーシャル・マクルーハンは彼の著書『メディア論―人間の拡張の諸相』（栗原・河本訳，みすず書房，1987 年）のなかで，“メディアは人間の外部環境のすべてで，人間拡張の技術であり，われわれのすみからすみまで変えてしまう。人類の歴史はメディアの交替の歴史ともいえ，メディアの作用に関する知識なしには，社会と文化の変動を理解することはできない”と示唆している。

このように未来社会におけるメディアの発展とその重要な役割は多くの学者が指摘するところであるが，大学教育の対象としての「メディア学」の体系化は進んでいない。東京工科大学は理工系の大学であるが，その特色を活かしてメディア学の一端を学部レベルで教育・研究する学部を創設することを検討し，1999 年 4 月世に先駆けて「メディア学部」を開設した。ここでいう，メディアとは「人間の意思や感情の創出・表現・認識・知覚・理解・記憶・伝達・利用といった人間の知的コミュニケーションの基本的な機能を支援し，助長する媒体あるいは手段」と広義にとらえている。このような多様かつ進化する高度な学術対象を取り扱うためには，従来の個別学問だけで対応することは困難で，諸学問横断的なアプローチが必須と考え，学部内に専門的な科目群（コア）を設けた。その一つ目はメディアの高度な機能と未来のメディアを開拓するための工学的な領域「メディア技術コア」，二つ目は意思・感情の豊かな表現力と秘められた発想力の発掘を目指す芸術学的な領域「メディア表現コ

ア」，三つ目は新しい社会メディアシステムの開発ならびに健全で快適な社会の創造に寄与する人文社会学的な領域「メディア環境コア」である。

「文・理・芸」融合のメディア学部は創立から 13 年の間，メディア学の体系化に試行錯誤の連続であったが，その経験を通して，メディア学は 21 世紀の学術・産業・社会・生活のあらゆる面に計り知れない大きなインパクトを与え，学問分野でも重要な位置を占めることを知った。また，メディアに関する学術的な基礎を確立する見通しもつき，歴年の願いであった「メディア学大系」の教科書シリーズ全 10 巻を刊行することになった。

2016 年，メディア学の普及と進歩は目覚ましく，「メディア学大系」もさらに増強が必要になった。この度，視聴覚情報の新たな取り扱いの進歩に対応するため，さらに 5 巻を刊行することにした。

2017 年に至り，メディアの高度化に伴い，それを支える基礎学問の充実が必要になった。そこで，数学，物理，アルゴリズム，データ解析の分野において，メディア学全体の基礎となる教科書 4 巻を刊行することにした。メディア学に直結した視点で執筆し，理解しやすいように心がけている。また，発展を続けるメディア分野に対応するため，さらに「メディア学大系」を充実させることを計画している。

この「メディア学大系」の教科書シリーズは，特にメディア技術・メディア芸術・メディア環境に興味をもつ学生には基礎的な教科書になり，メディアエキスパートを志す諸氏には本格的なメディア学への橋渡しの役割を果たすと確信している。この教科書シリーズを通して「メディア学」という新しい学問の台頭を感じとっていただければ幸いである。

2020 年 1 月

東京工科大学
メディア学部　初代学部長
前学長

相磯秀夫

「メディア学大系」の使い方

メディア学は，工学・社会科学・芸術などの幅広い分野を包摂する学問である。これらの分野を，情報技術を用いた人から人への情報伝達という観点で横断的に捉えることで，メディア学という学問の独自性が生まれる。「メディア学大系」では，こうしたメディア学の視座を保ちつつ，各分野の特徴に応じた分冊を提供している。

第1巻『改訂メディア学入門』では，技術・表現・環境という言葉で表されるメディアの特徴から，メディア学の全体像を概観し，さらなる学びへの道筋を示している。

第2巻『CGとゲームの技術』，第3巻『コンテンツクリエーション（改訂版）』は，ゲームやアニメ，CGなどのコンテンツの創作分野に関連した内容となっている。

第4巻『マルチモーダルインタラクション』，第5巻『人とコンピュータの関わり』は，インタラクティブな情報伝達の仕組みを扱う分野である。

第6巻『教育メディア』，第7巻『コミュニティメディア』は，社会におけるメディアの役割と，その活用方法について解説している。

第8巻『ICTビジネス』，第9巻『ミュージックメディア』は，産業におけるメディア活用に着目し，経済的な視点も加えたメディア論である。

第10巻『メディアICT（改訂版）』は，ここまでに紹介した各分野を扱う際に必要となるICT技術を整理し，情報科学とネットワークに関する基本的なリテラシーを身に付けるための内容を網羅している。

第2期の第11巻～第15巻は，メディア学で扱う情報伝達手段の中でも，視聴覚に関わるものに重点を置き，さらに具体的な内容に踏み込んで書かれている。

第 11 巻『CG によるシミュレーションと可視化』，第 12 巻『CG 数理の基礎』では，視覚メディアとしてのコンピュータグラフィックスについて，より詳しく学ぶことができる。

第 13 巻『音声音響インタフェース実践』は，聴覚メディアとしての音の処理技術について，応用にまで踏み込んだ内容となっている。

第 14 巻『クリエイターのための 映像表現技法』，第 15 巻『視聴覚メディア』では，視覚と聴覚とを統合的に扱いながら，効果的な情報伝達についての解説を行う。

第 3 期の第 16 巻～第 19 巻は，メディア学を学ぶうえでの道具となる学問について，必要十分な内容をまとめている。

第 16 巻『メディアのための数学』，第 17 巻『メディアのための物理』は，文系の学生でもこれだけは知っておいて欲しいという内容を整理したものである。

第 18 巻『メディアのためのアルゴリズム』，第 19 巻『メディアのためのデータ解析』では，情報工学の基本的な内容を，メディア学での活用という観点で解説する。

各巻の構成内容は，大学における講義 2 単位に相当する学習を想定して書かれている。各章の内容を身に付けた後には，演習問題を通じて学修成果を確認し，参考文献を活用してさらに高度な内容の学習へと進んでもらいたい。

メディア学の分野は日進月歩で，毎日のように新しい技術が話題となっている。しかし，それらの技術が長年の学問的蓄積のうえに成立しているということも忘れてはいけない。「メディア学大系」では，そうした蓄積を丁寧に描きながら，最新の成果も取り込んでいくことを目指している。そのため，各分野の基礎的内容についての教育経験を持ち，なおかつ最新の技術動向についても把握している第一線の執筆者を選び，執筆をお願いした。本シリーズが，メディア学を志す人たちにとっての学びの出発点となることを期待するものである。

2023 年 1 月

柿本正憲
大淵康成

まえがき

日本の高校における数学教育は，世界的に見てもトップレベルであると言われることがある。その真偽についてはさまざまな議論があるが，かなり高度な内容を扱うことに異論を唱える人は少ないであろう。しかしながらその一方で，高校までの数学教育では「どんなことに利用できるのか」についてはほとんど触れられないことが多い。

高校までの日本の教育制度は科目間での依存をできる限りなくすように設計されている。例えば，「物理」では微分積分の素養を必要としないように科目内容が設定されており，微分積分を履修していない生徒も物理を選択することが可能となっている。これにより，生徒は柔軟に履修教科を選択することができる一方で，複数科目に渡る共通の概念という存在を意識しないという副作用が生じてしまうという懸念がある。大学に入学し，さまざまな科目で実践的に数学を利用する場面があるが，これまで学習してきたさまざまな数学の素養が生かせないという学生は多い。本書は，抽象的な数学理論が，さまざまな分野でいかに有用なものであるかについて，学生に理解してもらうことを目的として書かれたものである。

1 章では分野によらない共通項目を初学者向けに端的にまとめて紹介していく。数学での最も基本的な概念である「集合と論理」，さまざまな数の種類についてまとめた「数と式」，数学的な処理の中心をなす「関数」，図形や空間の処理に欠かせない「ベクトル」，現代の科学技術においてきわめて重要な存在である「行列」，関数の性質を扱う「微分積分」，統計処理の基礎となる「確率」といった各単元をコンパクトにまとめた。

2 章は「CG・ゲームのための数学」と題して，おもにベクトルや行列についての理論を学んでいく。さまざまなメディア処理の中でも，3 次元のグラフィッ

クスは最も数学が活躍する分野の一つであり，その主役となるのがベクトルや行列を扱う「線形代数学」という分野である。線形代数学はきわめて有用な理論体系であるが，抽象性が高すぎて初学者にとって理解が困難な分野でもある。2 章では，具体的な利用方法をつねに意識しながら学習を進めていくことで，その有用性を実感できることを期待して執筆を進めた。

3 章は「音声音響信号処理のための数学」と題して，「フーリエ級数」という概念を中心に学んでいく。音の正体は空気振動の波であるため，波を扱う数学としての三角関数が基本となり，その組合せを理論的に扱うフーリエ級数やフーリエ変換が不可欠である。しかしながら，そのハードルは決して低いものではない。3 章は，高度な音声音響処理の基盤となる数学理論をまとめたものである。

4 章は「人間社会モデルのための数学」と題し，グラフ理論を基本とした理論を学ぶ。グラフとは，複数の頂点と頂点同士を接続した辺による模式図であり，さまざまな問題解決に応用することができる。高校数学まではほとんど扱われてこなかった内容であるが，さまざまな場面で問題解決に役立つものである。

本書を通じて，数学がいかに有用で重要なものであるかを読者が実感することを願っている。

2025 年 9 月

著者を代表して　渡辺大地

目　　次

1章　数学の基礎

1.1　集合と論理 …… 2
1.1.1　集　　合 …… 2
1.1.2　論　　理 …… 3
1.2　数　と　式 …… 4
1.2.1　自然数，整数，有理数，実数，複素数 …… 4
1.2.2　複素平面 …… 5
1.2.3　多　項　式 …… 6
1.3　初等関数 …… 8
1.3.1　関　　数 …… 9
1.3.2　指数関数 …… 10
1.3.3　対数関数 …… 12
1.3.4　度数法と弧度法 …… 14
1.3.5　三角関数 …… 14
1.3.6　三角関数の加法定理 …… 17
1.3.7　極　形　式 …… 19
1.4　ベクトル …… 21
1.4.1　ベクトルの定義 …… 21
1.4.2　ベクトルの演算 …… 23
1.4.3　ベクトルの長さ …… 24
1.4.4　行ベクトルと列ベクトル …… 25
1.5　行　　列 …… 26
1.5.1　行列の定義 …… 26
1.5.2　行列とベクトルの積 …… 26
1.5.3　行列と実数の積 …… 27
1.5.4　行列同士の演算 …… 28
1.5.5　行列の表記方法 …… 28
1.5.6　各種演算の交換法則 …… 29

1.5.7 単位行列と零行列 30
1.5.8 行列式と逆行列 31
1.5.9 行列と連立方程式 32
1.5.10 逆行列の利用 33
1.5.11 非正則行列の場合 34
1.5.12 行列の転置 35
1.6 微分と積分 35
1.6.1 微分 35
1.6.2 積分 37
1.7 確率 39
演習問題 42

2章 CG・ゲームのための数学

2.1 ベクトルによる線分表現 45
2.1.1 点と座標系 45
2.1.2 位置ベクトルと方向ベクトル 47
2.1.3 直線と線分 48
2.1.4 直線の解析学的表現 48
2.1.5 ベクトルを用いた線分の表現 49
2.1.6 線分表現式の応用 51
2.1.7 線分同士の交点 51
2.2 ベクトル同士の掛け算 53
2.2.1 ベクトルの内積 53
2.2.2 内積演算の法則 56
2.2.3 ベクトルの前後関係と内積 57
2.2.4 ベクトルの外積 58
2.2.5 外積の正弦定理 58
2.2.6 外積演算の法則 59
2.2.7 ベクトルの左右関係と外積 59
2.3 領域内外判定 60
2.3.1 多角形（ポリゴン）と折れ線（ポリライン） 60
2.3.2 三角形内部の表現方法 62
2.3.3 一般的な三角形の領域表現 65
2.3.4 ベクトルの線形独立と線形従属 65

2.4　行列と線形変換 — 68
2.4.1　拡大・縮小変換 — 69
2.4.2　行列による回転移動 — 70
2.5　同次座標による線形変換の拡張 — 72
2.5.1　線形変換の限界とアフィン変換 — 72
2.5.2　同　次　座　標 — 73
2.5.3　3 行 3 列の行列 — 74
2.5.4　線形変換による平行移動 — 76
2.5.5　同次座標に対応した拡大縮小と回転 — 77
2.6　合成変換とその応用 — 77
2.6.1　二つの連立方程式と行列積 — 79
2.6.2　任意位置での図形回転 — 80
2.6.3　行列による任意位置図形回転 — 83
2.6.4　合成変換の利用 — 84
2.7　3 次元空間での線形変換 — 85
2.7.1　4 行 4 列行列 — 85
2.7.2　平行移動変換と拡大縮小変換 — 87
2.7.3　回　転　変　換 — 88
2.7.4　回転変換の非可換性 — 89
演　習　問　題 — 91

3章　音声音響信号処理のための数学

3.1　単　　振　　動 — 93
3.2　フーリエ級数展開 — 96
3.2.1　奇関数・偶関数の積分 — 97
3.2.2　三角関数の直交性 — 100
3.2.3　フーリエ級数展開 — 106
3.3　複素形のフーリエ級数展開 — 113
3.3.1　テイラー展開 — 113
3.3.2　オイラーの公式 — 116
3.3.3　複素フーリエ級数と複素フーリエ係数 — 119
3.3.4　複素指数関数の微分と積分 — 122
3.3.5　複素フーリエ係数の計算例 — 123
3.4　フーリエ変換 — 127

3.4.1 フーリエ変換 127
3.4.2 フーリエ逆変換 133
3.5 スペクトログラム 135
3.5.1 スペクトル 135
3.5.2 スペクトログラム 139
演習問題 144

4章 人間社会モデルのための数学

4.1 グラフとネットワーク 146
4.1.1 グラフ理論の成り立ちと表記法 146
4.1.2 さまざまなグラフ 148
4.1.3 グラフの周遊路と最短経路問題 151
4.1.4 ネットワークと最大フロー問題 154
4.2 線形関数で表される最適化 157
4.2.1 線形関数による表現 157
4.2.2 線形計画法 158
4.2.3 誤差最小化と最小二乗法 163
4.3 組合せ最適化 166
4.3.1 ナップザック問題 166
4.3.2 厳密解法と近似解法 168
4.3.3 巡回セールスマン問題 170
4.3.4 組合せ最適化問題のメタヒューリスティクス 173
4.4 ゲーム理論 177
4.4.1 ゲーム理論とは 177
4.4.2 囚人のジレンマ 179
4.4.3 ナッシュ均衡 181
4.4.4 混合戦略 182
演習問題 184

引用・参考文献 185
演習問題解答 187
索引 192

1章　数学の基礎

◆本章のテーマ

本章では，以降の章を読むときに必要となる数学の基礎知識を学ぶ。本章で学ぶ範囲は，高校数学が扱う範囲とほぼ同じである。これらの知識がすでに身についている場合は，本章を読み飛ばしてしまって構わない。

◆本章の構成（キーワード）

1.1　集合と論理
　　集合，要素，命題，条件
1.2　数と式
　　自然数，整数，有理数，実数，複素数，複素平面，多項式
1.3　初等関数
　　指数関数，対数関数，三角関数，極形式
1.4　ベクトル
　　ベクトル，ベクトルの和
1.5　行列
　　行列，行列の積，逆行列，正則行列
1.6　微分と積分
　　初等関数の微分，初等関数の積分
1.7　確率
　　確率，確率分布，期待値，条件付き確率

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

☞　数学の基本的な用語の定義
☞　ベクトルの基本演算
☞　行列の基本演算
☞　微分と積分の考え

1.1 集合と論理

1.1.1 集　　合

ものの集まりを**集合**（set）と呼ぶ。通常，集合を表すときには大文字のアルファベットを用いる。集合に属するもののことをその集合の**要素**（element），もしくは，**元**と呼ぶ。例えば，1 以上 5 以下の自然数の集合 A は，以下のように記述される。この記法を**外延的定義**（extensional definition）と言う。

$$A = \{1, 2, 3, 4, 5\} \tag{1.1}$$

要素 x が集合 A に属していることを記号で $x \in A$ と書く。属していない場合は，$x \notin A$ のように書く。式 (1.1) の例では，$3 \in A$ であり，$6 \notin A$ である。

集合には，**内包的定義**（intensional definition）という記法もあり，以下のように縦棒の右に条件を書く方法である。

$$A = \{x \mid 1 \leqq x \leqq 5\} \tag{1.2}$$

何も要素を持たない集合を**空集合**（empty set）と呼び，記号では $\varnothing$ と書く。

二つの集合 A と B があり，A の要素がすべて B にも属する場合，A は B の**部分集合**（subset）であると言う。このとき，$A \subset B$ のように書く。A が B の部分集合でないとき，$A \not\subset B$ と書く。

二つの集合 A と B があり，$A \subset B$ と $B \subset A$ の両方が成立するとき，A と B は**等しい**（equal）と言う。このとき，$A = B$ と書く。

集合 A の要素と集合 B の要素を合わせたものを**和集合**（union）と呼び，$A \cup B$ と書く。このとき，両方の集合に含まれる要素があった場合，二つとして区別するのではなく，一つの同じ要素として扱う。集合 A と集合 B に共通して存在する要素の集合を**共通部分**（intersection）と呼び，$A \cap B$ と書く。集合 A から「集合 B にも含まれる要素」を除去したものを**差集合**（set difference）と呼び，$A \setminus B$ と書く。以下にこれらの例を示す。

$$A = \{1, 2, 3, 4, 5\},\ B = \{3, 5, 7, 9\},\ C = \{7, 8, 9\} \tag{1.3}$$

$$A \cup B = \{1, 2, 3, 4, 5, 7, 9\} \tag{1.4}$$

$$A \cap B = \{3, 5\} \tag{1.5}$$

$$A \cap C = \varnothing \tag{1.6}$$

$$A \setminus B = \{1, 2, 4\} \tag{1.7}$$

1.1.2 論　　理

その内容が正しいか正しくないかが明確に決まる文や式を**命題**（proposition）と呼ぶ。命題が正しいとき，その命題は**真**（true）であると言う。命題が正しくないとき，その命題は**偽**（false）であると言う。例えば，「5 は素数である」は真の命題であり，「4 は素数である」は偽の命題である。「100 は大きい数である」は，「大きい」が明確に定義されていない場合は，命題ではない。

「○○であるならば，△△である」という命題において，「○○である」を**仮定**（assumption）と呼び，「△△である」を**結論**（conclusion）と呼ぶ。命題「p ならば q」を記号で $p \Rightarrow q$ と書く。

命題 $p \Rightarrow q$ が真であるとする。このとき，p は，q であるための**十分条件**（sufficient condition）であると言い，q は，p であるための**必要条件**（necessary condition）であると言う。例えば，命題「$x = 4 \Rightarrow x$ は 2 で割り切れる」は真である。したがって，「$x = 4$」は，「x が 2 で割り切れる」ための十分条件であり，「x が 2 で割り切れる」は，「$x = 4$」であるための必要条件である。x が 2 で割り切れても x が 4 であるとは断言できないので，命題「x は 2 で割り切れる $\Rightarrow x = 4$」は偽である。したがって，「$x = 4$」は，「x が 2 で割り切れる」ための必要条件ではない。同様に，「x が 2 で割り切れる」は，「$x = 4$」であるための十分条件ではない。

命題「$p \Rightarrow q$，かつ，$q \Rightarrow p$」を記号で $p \Leftrightarrow q$ と書く。このとき，p と q は**同値**（equivalent）であると言う。同値である場合，p は，q であるための**必要十分条件**（necessary and sufficient condition）であり，q もまた，p であるための必要十分条件である。

1.2 数　と　式

1.2.1 自然数，整数，有理数，実数，複素数

自然数（natural number）の集合，**整数**（integer）の集合，**有理数**（rational number）の集合，**実数**（real number）の集合をそれぞれ記号で $\mathbb{N}$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$ と書く。

$$\mathbb{N} = \{1, 2, 3, 4, \cdots\} \tag{1.8}$$

$$\mathbb{Z} = \{\cdots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \cdots\} \tag{1.9}$$

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, -\frac{1}{3}, -\frac{5}{3}, 0.3, 0.333\cdots \in \mathbb{Q} \tag{1.10}$$

$$\sqrt{2}, \sqrt{3}, -\sqrt{3}, \frac{\sqrt{2}}{2}, \pi \in \mathbb{R} \tag{1.11}$$

実数のうち，有理数でないものを**無理数**（irrational number）と呼ぶ。

つぎの極限値で定義される数 e を**ネイピア数**（Napier's constant）と呼ぶ。この数を，便宜上，**自然対数の底**（base of natural logarithm）と呼ぶことも多い。

$$e = \lim_{h \to 0} (1 + h)^{\frac{1}{h}} = 2.718\,281\,828\,45\cdots \tag{1.12}$$

ネイピア数は無理数である。

$x^2 = -1$ を満たす「数」の一方を $x = \sqrt{-1}$ と書き，これを**虚数単位**（imaginary unit）と呼ぶ。省略記号として，$i = \sqrt{-1}$ を用いる。

$a, b \in \mathbb{R}$ のとき，$x = a + bi$ を**複素数**（complex number）と呼ぶ。複素数の集合を記号で $\mathbb{C}$ と書く。例えば，複素数 $3 - 2i$ と $4 + i$ の加減乗除は，以下のように計算される。

$$(3 - 2i) + (4 + i) = 7 - i \tag{1.13}$$

$$(3 - 2i) - (4 + i) = -1 - 3i \tag{1.14}$$

$$(3 - 2i)(4 + i) = 12 + 3i - 8i + 2 = 14 - 5i \tag{1.15}$$

$$\frac{3-2i}{4+i} = \frac{(3-2i)(4-i)}{(4+i)(4-i)} = \frac{10-11i}{17} = \frac{10}{17} - \frac{11}{17}i \tag{1.16}$$

$x = a + bi$ に対して $a - bi$ を**共役複素数**（conjugate complex number）と呼ぶ。記号で $\overline{x} = a - bi$ と書く。

1.2.2 複 素 平 面

前項で見た通り，複素数は二つの実数の組で表現される。二つの実数の組 (a, b) を 2 次元平面上の点とみなすと，複素数 $x = a + bi$ をこの点と対応させることができる。例えば，$x = 2 + i$ は，$2 + 1i$ であるので，平面上の点 $(2, 1)$ と対応させることができる。同様に，$x = -0.5 - 3i$ は，平面上の点 $(-0.5, -3)$ と対応させることができる。これを図示すると，**図 1.1** のようになる。このような平面を**複素平面**（complex plane），もしくは，**複素数平面**と呼ぶ。複素平面では，横軸を**実軸**（real axis），縦軸を**虚軸**（imaginary axis）と呼ぶ。

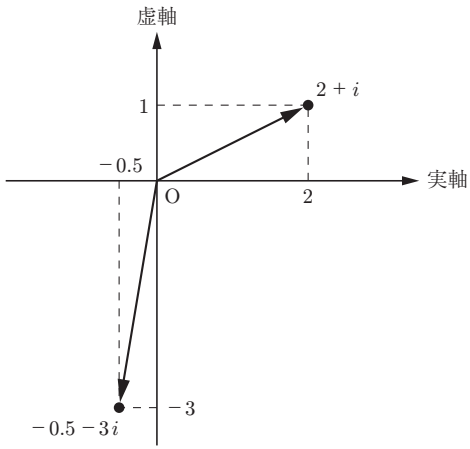

図 1.1 複 素 平 面

複素数に対しては，その**絶対値**（absolute value）を次式で定義する。

$$|x| = |a + bi| = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{1.17}$$

これは実数に対する絶対値の考えを発展させたものであり，複素平面上の点と

索　　引

【あ】

アフィン変換 73

【い】

位　相 15, 93
位相スペクトル 135, 137
一次従属 66
一次独立 66
一次独立性 67
位置ベクトル 21, 47
遺伝的アルゴリズム 174

【う】

ウェーバー・フェヒナーの法則 139

【え】

エネルギースペクトル 135, 137

【お】

オイラー小道 148
オイラーの公式 116
重み付きグラフ 149

【か】

カーディナル・サイン関数 129
外延的定義 2
回帰分析 165
外　積 53, 58
回転行列 72
回　路 151
可　換 89
可逆行列 32
角周波数 93
拡大縮小行列 70
確　率 39
確率分布 40
確率変数 39
重ね合わせた波 95
傾　き 49
仮　定 3
関　数 9

【き】

木 150
偽 3
基　音 95
奇関数 97
期待値 40
基本角周波数 95
基本周波数 95
基本波 95
逆関数 9
逆行列 32
球面座標系 46
共通部分 2
行ベクトル 25
共役複素数 5
協力ゲーム 180
行　列 26
行列式 31
極形式 20
極座標 20
極座標系 46
局所最適解 177
虚　軸 5
虚数単位 4
虚数部分 122
近似解法 170
近傍探索 170

【く】

偶関数 98
空事象 39
空集合 2
矩形波 111
矩形窓 140
組合せ最適化問題 167
グラフ 147
グラフ理論 146
繰返しゲーム 180

【け】

係　数 7
ゲーム理論 177
結　論 3
原始関数 37
厳密解法 170

【こ】

項 7
交換法則 56
合成関数 10
　――の微分 36
合成写像 80
合成波 95
合成変換 80
光　線 48
降べきの順に整理する 8
弧度法 14
小　道 151
混合戦略 182

【さ】

最小二乗法 164
最短経路問題 152
差集合 2
座標系 45
座標値 21
三角関数 16
　――の加法定理 17
　――の直交性 103
三角波 109
残余ネットワーク 156
残余容量 156

【し】

事　象 39
次　数 7
指数関数 10
指数法則 10
自然数 4
自然対数 14
　――の底 4
実　軸 5
実　数 4
実数値関数 9
実数部分 122
射　影 55

射影座標 73
写　像 9
終　域 9
周　期 15, 95
周期関数 15
集　合 2
囚人のジレンマ 179
従属変数 9
周波数 94
十分条件 3
巡回セールスマン問題 154, 170
条件付き確率 41
常用対数 13
初期位相 93
真 3
真　数 12
振　幅 93
振幅スペクトル 135, 137
振幅スペクトル密度 137
シンプレックス法 161

【す】

スカラー 21
スカラー積 53
スペクトログラム 142
スラック変数 160

【せ】

正規化 sinc 関数 129
正弦関数 14
正弦曲線 15
斉次座標 73
正準形 160
整　数 4
正接関数 16
正則行列 32
成　分 22, 26
積 6
積　分 37
積和の公式 18
接　線 35
絶対値 5
切　片 49
ゼロサムゲーム 178
線形計画法 159
線形従属 66
線形代数学 29
線形独立 66
線形独立性 67
線形変換 68
全事象 39
全探索 168
線　分 48

【そ】

総和記号 86
添え字 6

【た】

ダイクストラ法 152
対数関数 12
対数振幅スペクトル 138
多角形 60
多項式 7
多重グラフ 148
単位行列 30
単位ベクトル 25
単回帰分析 165
単項式 7
短時間フーリエ変換 140
単純グラフ 148
単振動 93

【ち】

値　域 9
置換積分 37
頂　点 147
直　線 48
直交座標 20
直交座標系 45

【て】

底 10
　――の変換公式 13
定義域 9
定数項 7
定積分 37
テイラー展開 114
デカルト座標系 45
デシベル音圧レベル 139
デシベル表示 138
点乗積 53
転　置 25, 35

【と】

導関数 35
同次座標 73
同次座標成分 73
等速度直線運動 51
同　値 3
同類項 8
特異行列 32
独立変数 9
閉じたポリライン 61
度数法 14
ドット積 53
ド・モアブルの定理 21
貪欲法 170

【な】

内　積 53
内包的定義 2
ナッシュ均衡 181
ナップザック問題 167

【に】

ニューラルネットワーク 174

【ね】

根 150
ネイピア数 4
ネットワーク 154

【の】

ノルム 25

【は】

葉 151
倍　音 95
媒介変数 50
ハニング窓 141
ハミング窓 141
パラメータ 50
パワースペクトル 135, 137
パワースペクトル密度 137
半角の公式 18
半直線 48
ハン窓 141

【ひ】

非可換 90
非可逆行列 32
非協力ゲーム 180
非正則行列 32
被積分関数 37
必要十分条件 3

必要条件 3
非特異行列 32
等しい 2
微　分 35
標準形 160
開いたポリライン 61
非連結グラフ 150

【ふ】

フーリエ逆変換 133
フーリエ級数 106
フーリエ級数展開 106
フーリエ係数 106
フーリエ部分和 108
フーリエ変換 127
フォード・ファルカーソン法 156
複素関数 116
複素形のフーリエ級数 119
複素形のフーリエ係数 119
複素指数関数 116
複素数 4
複素数値関数 9
複素フーリエ級数 119
複素フーリエ級数展開 119
複素フーリエ係数 119
複素平面 5
不　定 34
不定積分 37
不　能 34
部分集合 2
部分積分 38
フレーム 139
フレームサイズ 140
フレームシフト 143
フロー 154
分枝限定法 172
分配法則 56
分　布 40

【へ】

平　均 40
閉　路 151
ベクトル 21
　——の正規化 25
　——の長さ 24
ベクトル積 58
ベクトル方程式 50
ヘルツ 94
辺 147
偏　角 20

【ほ】

方向ベクトル 21, 47
歩　道 151
ポリゴン 60
ポリライン 61

【ま】

マクローリン展開 114
窓関数 139

【み】

道 151

【む】

無向グラフ 149
無向線分 48
無理数 4

【め】

命　題 3
メタヒューリスティクス 174

【も】

目的関数 159
森 150

【や】

焼きなまし法 174

【ゆ】

ユークリッド距離 25
有向グラフ 149
有向線分 48
有理数 4

【よ】

要　素 2
容　量 155
余弦関数 14

【ら】

ラジアン 14
ランダムサーチ 169

【り】

利　得 178
利得表 178
隣接行列 147

【れ】

レ　イ 48
零行列 30
零ベクトル 59
列ベクトル 25
連結グラフ 150
連続関数 113
連立方程式 32

【わ】

和 6
和集合 2
和積の公式 19

【アルファベット】

C^n 級関数 113
C^∞ 級関数 113
cos 関数 15
n 次高調波 95
n 次式 7
sinc 関数 129
sin 関数 14
s-t カット 156
tan 関数 16

【数字】

1 次元調和振動 93
2 倍角の公式 18
2 部グラフ 150
2 分木 151

—— 著 者 略 歴 ——

渡辺　大地（わたなべ　たいち）
1994年　慶應義塾大学環境情報学部卒業
1996年　慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了
1999年　東京工科大学講師
2016年　岩手大学大学院工学研究科博士後期課程修了（デザイン・メディア工学専攻）
　　博士（工学）
2017年　東京工科大学准教授
2020年　東京工科大学教授
　　現在に至る

松吉　俊（まつよし　すぐる）
2003年　京都大学理学部理学科数理科学系卒業
2005年　京都大学大学院情報学研究科博士前期課程修了（知能情報学専攻）
2008年　京都大学大学院情報学研究科博士後期課程修了（知能情報学専攻）
　　博士（情報学）
2008年　奈良先端科学技術大学院大学特任助教
2011年　山梨大学助教
2016年　電気通信大学助教
2021年　東京工科大学講師
　　現在に至る

大淵　康成（おおぶち　やすなり）
1988年　東京大学理学部物理学科卒業
1990年　東京大学大学院理学系研究科修士課程修了（物理学専攻）
1992年　株式会社日立製作所中央研究所勤務
2002年　米国カーネギーメロン大学客員研究員（兼務）
～03年
2005年　早稲田大学客員研究員（兼務）
～10年
2006年　博士（情報理工学）（東京大学）
2013年　クラリオン株式会社勤務（兼務）
～15年
2015年　東京工科大学教授
　　現在に至る

メディアのための数学 ── 数式を通じた現象の記述 ──
Mathematics for Media Science
── Description of Phenomena through Mathematical Expressions ──
© Watanabe, Matsuyoshi, Obuchi 2025

2025 年 11 月 28 日　初版第 1 刷発行　★

検印省略

著　　者　渡　辺　大　地
　　松　吉　　俊
　　大　淵　康　成
発 行 者　株式会社　コ ロ ナ 社
　　代 表 者　牛 来 真 也
印 刷 所　三 美 印 刷 株 式 会 社
製 本 所　有限会社　愛 千 製 本 所

112–0011　東京都文京区千石 4–46–10
発 行 所　株式会社　**コ ロ ナ 社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140–8–14844・電話(03)3941–3131(代)
ホームページ https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978–4–339–02777–8　C3355　Printed in Japan　(松岡)

JCOPY　<出版者著作権管理機構 委託出版物>
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製･転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。