

0.3.4 今日の1ミリ数学スタイル

[【目次へのリンク】](#)

目次

0.3.4.1	環境を整える	333
0.3.4.2	物理のための数学学習: 二つの大方針	334
0.3.4.3	例示は理解の試金石	336
0.3.4.4	例示の重要性へのコメント	338
0.3.4.5	例の作り方	339
0.3.4.6	大学受験関係	340
0.3.4.7	数学の用語の意味	341
0.3.4.8	数学の本を読むときに	341
0.3.4.9	数学書の読み方・勉強の仕方	346
0.3.4.10	論文や教科書の読み方	346
0.3.4.11	復習の仕方	346
0.3.4.12	数学の雑なところ	347
0.3.4.13	いろいろな定義, 同値な定義	348
0.3.4.14	具体例での確認	348
0.3.4.15	研究者に聞く勉強の仕方	348
0.3.4.16	他の通信講座一覧	349
0.3.4.17	その他案内: 数学ビギナーズマニュアル	349
0.3.4.18	大人のための勉強法	350
0.3.4.19	節終了	352

0.3.4.1 環境を整える

この講座に限らず、私の講座を受講する人はまさに勉強中の中高生・大学生ばかりではなく、独学しようとしている大人も多いです。むしろもう学校を出て社会に出ている人の方が多いくらいでしょう。

そんな人が苦勞するのは勉強に適した**環境がない**ことです。何かわからないことがあったとき質問・相談できる相手はいるでしょうか？ そもそも、数学や物理の勉強をしていると言える相手はいるでしょうか？

先日、出身大学である早稲田の同期会のようなところに参加したとき、自己紹介でしている仕事も言うことになりました。いわゆる文系出身者が9割以上です。そのときある理系出身者がまさに理工系、という感じの仕事の話に軽く触れ、突っ込みを受けて簡単に説明しようとしたとき、「まあ、よくわからないということで」と笑われて話を遮られ、そのまま自己紹介を終わらせられたのです。当人がどう思ったかはわかりませんが、傍から見ていて非常に屈辱的でした。早稲田でさえこの体たらくです。あなたの周囲に、あなたがいま数学や物理の勉強をしていると打ち明けられる知り合いが多いとは思えません。

この状況で勉強を続けるのは何をどう考えても難しいです。仕事で疲労困憊する中、それでもなお数学や物理の勉強を続けるには尋常ではない熱意か、よほど数学や物理が必要で切羽詰まっているかのどちらかです。そしてわざわざ私の講座を受講しているということは、いまあなたが使える環境の中で、数学・物理に関するやりとりができる人がかなり少ないのだらうとも思います。

私が言っている環境というのはまさにこれです。あなたの状況次第ではありますが、こうした環境がないなら、まずは数学や物理の話ができる相手を見つけましょう。リアルでいないなら、ネットで見つけるのです。実際、私は大学院を出て、身近に数学や物理の話ができる知り合いが激減したのをどうにか取り返すべく、いろいろ考えて調べていたところ、ニコニコ動画に数学

や物理の動画を投稿している人がいるのを見つけ、視聴者が (のべで) 2000 人近くもいるしコメントも 100 近くある、それにこれなら自分でもできそうだと、思い自分でもニコニコ動画に投稿をはじめました。それで理工系の知り合いができ、その次に Twitter でさらに知り合いが増え、まわりまわっていまはこうした講座を作ったりもしています。

私のいまのネット上でのメインは Twitter なのですが、そこでは中高生から OL、主婦にいたるまで、いろいろな人が楽しそうに数学や物理の話をしています。オンライン・オフライン含めていろいろなイベントもあります。次のアカウントが私のアカウントです。

- **Twitter アカウント**

数学・物理関係者ともいろいろ交流していますし、フォロワー・フォロワーも多くが数学または物理の関係者です。ときどきわからないことがあると、教官や大学院生などに質問していることもあります。積極的につぶやくまでいかななくても、ぜひ日々のやりとりを眺めてみてください。数学・物理のやり取りができる知り合いを増やす参考になるとと思います。

いろいろな状況があつてしばらくオン・オフともにセミナーをしていなかったのですが、ここ最近、試験的にクローズドでオンラインセミナーや勉強会を再開したりしています。何か勉強したいテーマなどがあり、要望が多ければ企画して人を集めて新たな勉強会を開くことも考えています。ぜひ勉強しやすい環境構築に活用してください。

0.3.4.2 物理のための数学学習: 二つの大方針

- 物理で必要性を実感してから泥縄式にやるか。
- 数学を先に準備してから一気に物理に行くか。

お勧めなのはハイブリッド: 先に雑に物理を勉強しておいて、数学をつまみ食いしつつ物理に戻る。

厳密な議論の前に雑にある程度大きな姿を知っておくことが本当に大事。「ごちゃごちゃ書いてあるが、要はアレでしょ?」というノリ。「厳密に言えばいろいろあるらしいが、当面この理解でも大丈夫、物理はできる」という実感を得ておく。純粋に数学だけをやる上でも大事: ホモロジー代数をやっておくと幾何のこんなことがすっきりわかるし、同じような定式化の他の理論を勉強するときにもイメージしやすくなって助かる。

0.3.4.2.1 終了

0.3.4.3 例示は理解の試金石

これはどちらかと言えば数学科の数学よりの勉強法です。

節タイトルの「例示は理解の試金石」は結城浩さんの『数学ガール』の有名なセリフです。あなたもご存知かもしれません。確かにとても大事なことです。ただ、数学外の人にこの重みが伝わっていないように思います。そこで簡単に説明をつけることにしました。

例示、つまり例を作ることは決定的に重要な事例を紹介します：それもその当時の全数学者の理解を試すことになった事例を。

微分法を知っていれば言葉がわかる、という意味でわかりやすいのはワイエルシュトラスの例でしょう。19世紀の時点では、連続な関数は常に適当な意味で微分可能だと考えられていました。高校でも出てくる $f(x) = |x|$ のように、連続関数が一点や二点で微分できないことはあっても、全ての点で微分できない連続関数があるとは考えられていなかったのです。それに対してワイエルシュトラスがいたるところで微分できない連続関数の例を人類史上はじめて作り、当時の数学界に深い衝撃を与えました。例を一つ作ることで人類全体の理解を一変させた決定的な事例です。

他に例を作る意義がわかりやすいのは、数学界のノーベル賞と言われるフィールズ賞に関するミルナーの話でしょうか。ミルナーは7次元球面にふつう球面に対して考えるモノとは違う微分構造が27種類あることを発見しました。そしてふつうの微分構造も入れた、この全28種類の下にある位相構造は全て同じなのです。ワイエルシュトラスの話と同じで、ミルナーがこの事実を発表した当時、ある位相構造と両立する微分構造がたくさんあるとは思われていなかったのです。これまた数学界に深い衝撃を与えました。どのくらい衝撃が強かったかと言うと、フィールズ賞が与えられ、この発見を機に微分位相幾何という分野が起り大発展を遂げたほどです。ミルナーの仕事以外にもいくつかフィールズ賞が出ているほど、数学の中ですさまじい勢いがあったのです。

日本人に関して有名な事例をさらに二つ紹介します。まずは**ミスター反例の異名を持つ永田雅宜**さんの話です。永田さんは有名な**ヒルベルトの第 14 問題**を反例を作ることで解決したことで有名です。これ以外にもいろいろな問題を反例を作ることで解決することが多かったため、その類稀な反例構成力に敬意を表して「ミスター反例 (Mr. Counterexample)」と呼ばれているのです。ワイエルシュトラスやミルナーと同じく、例を作るだけで論文になり、世界に衝撃を与えられるのです。

もう一つ、物理とも関わるところで荒木不二洋先生の話をしておきましょう。荒木先生はもともと物理出身で、数学としては作用素環の研究者です。荒木先生は場の量子論・量子統計力学が専門で、これらを用いて作用素環で研究しています。作用素環は知っている人は知っているフォン・ノイマンが創始した分野です。コンピューターでノイマン型コンピューターというのがありますが、そのノイマンです。

さて、荒木先生は物理で出てくるフォン・ノイマン環がどんな性質を持っているかを調べました。実はフォン・ノイマンがフォン・ノイマン環を発見したときから、フォン・ノイマン環は I 型, II 型, III 型の三種類があることが知られていて、I 型・II 型は例があったものの III 型は例が一つも作れていなかったのです。そんな中、場の量子論と量子統計力学で出てくるフォン・ノイマン環はほぼ例外なく III 型であると証明することで III 型環の例をはじめて作ったのです。荒木先生のこの論文の場合、数学として例を作っただけではない部分も大きいのですが、例を作ったことはそれ自体高く評価されているのは間違いありません。

勉強という範囲でもう一つ事例を紹介しましょう。以前、東大に大島利雄という代数解析で有名な先生がいました。先輩が大島先生に「学生時代に苦勞した科目は何でしたか?」と聞いたそうです。それで位相空間論と返ってきて、意外だったらしく、さらにどうしてかと聞いたとき、返ってきた答えがやはり一流の数学者の答えだったのです。

大島先生は「ある例が作れそうだったんだけど、それがなかなかできなくて半年くらい悩んだことを今でも覚えている。あれは本当に苦しかった」と

答えたそうです。上にも書いた通り、例を作るというのはフィールズ賞（ノーベル賞）が出るほど創造的な営みです。大島先生は学部生の頃から例を作ることをおろそかにせず、半年悩み続ける精神的なタフさも持っていたのです。先輩もそのエピソードを話してくれたとき、「やはり教官は格が違う」と言っていました。

もちろんあなた自身、何か悩むたび毎回毎回これだけの時間と労力を割いて例を作り続ける必要はありません。有名な反例も多いですし、“Counterexamples in — (分野名)” という本もあるほどです。知りたければそうした本を参照してもいいでしょう。一番いいのは詳しい人に聞くことかもしれません：ここでやはりそうした環境整備の重要性が出てきます。

何にせよ、例を作ることの重要性和難しさ、そして理解を深めるのに役立つことはしっかり覚えておいてください。

0.3.4.4 例示の重要性へのコメント

- URL

このツイートで引用されているコメントを辿るところからはじめましょう。

「集合と位相」と「群論」は、非数学科（理工、経済学部）でわかりたいけど入門で挫折している人は多いと思う。テキストを選んで一年間かけて輪講するオンラインゼミがあったら需要はあると思う。出られないかったらその時のゼミを後で聴けるようにして、月 3000 円なら 1000 人くらいは集まる気がする。

平易で優れたテキストの多い分野だし、良い教科書を教えればそれで解決して需要消滅しそう

これに対して数学者が次のようなコメントを返しています。

位相空間論みたいな抽象論は具体例を弄らないと分かった気になれな

いので、訓練を受けてない方がテキスト読むだけで分かるかは微妙な気がするんですよね。

これに対してさらに次のようなやりとりが続きます。

関数のなす級数で完備性を使ったり ode の解の存在と一意性の証明で縮小写像の原理使ったり、微積分が良い例をくれるので (理学部向けの) 微積分やってないと厳しそうですね

それもありますけど、訓練された数学科生みたいに、とりあえずものすごく簡単な例で考えながら理解するという習慣は普通の人にはないので、そういう人が位相空間論のテキストを読んで「理解」した気になるのが疑問なんですよね。現に多くの大学では位相空間論や群論には演習を付与するわけでして。

うーん、文化が違う感じですね

このあたりの文化の違いをきちんと意識して勉強しないといけない部分もあるのです。

0.3.4.5 例の作り方

先程は例を作る重要性を紹介しました。今度は例の見つけ方・作り方を簡単に説明します。

まずは本の読み方を覚えましょう。少なくとも数学書を読んでいる限り、たいてい場合は定義や定理の証明のあとに例が出てきます。よくわからなくなったら本を読み進めて例を見つけます。このとき、本それ自体を一度最初から最後まで、細かいところを気にせず読み切っておき、どこに何が書いてあるか、どういう構成なのかを確認するのも一手です。

なぜかという、例えば本全体がある理論を紹介することが目的で、その理論がある主定理の形にまとまっているなら、その主定理そのものが一つ大

きな具体例になっていることがあるからです。その主定理がさらにいろいろな具体例を持っていることがふつうなので、そこから例が見つかる場合があります。

次は自明な例を挙げられるようになりましょう。このとき大事なのは中highで山ほどやってきた計算から取って来るか考えることです。特に物理や工学で出てくるのは線型代数・微分積分・微分方程式なので、中highの数学 + 物理から例をひねり出しやすくなっています。

次は本に書いてある例を少しひねって例が作れないか考えます。本に書いてある例の構成法を真似するとそこから無限個の例が作れることもよくあります。

さらに例を自作してみたくなったら、実際に凝った例をいろいろ眺めてみるのも大事です。そのときはいくつかある“Counterexamples in — (分野名)” シリーズを眺めるのがお勧めです。例えば [83], [126], [228] [166] などがあります。他には私が作った DVD [224] もお勧めしておきます。物理由来の例としてディラックの δ 関数などの話もしています。

0.3.4.6 大学受験関係

この講座は中高生の受講も想定しているので、念のため案内しておきます。大学受験に特化した形にはしていますが、勉強法に関して解説した電子書籍も販売しています。

- **独学のすゝめ 大学受験勉強法** **あなたが大学受験で失敗・後悔しないために 私はなぜあなたにいい大学・難関大に入ってほしいのか**

必要ならぜひこれも参考にしてください。

0.3.4.7 数学の用語の意味

数学の用語は「嬉しい」か「つらい」かどちらかを表しています。そしてたいていの場合は嬉しい概念です。まずはどちらを表しているのかを考え、次にどう嬉しいのかを見極めましょう。

なぜたいていの用語は嬉しい方に分類されるかを簡単に紹介します。それは何の条件や仮定もなければ無制限で野生の数学に出会います。一般にこれは凶暴で手がつけられません。そこで扱いやすくするために適当な制約をつけます。その制約が定義される概念だからです。例えば位相空間論でのコンパクト：やはりコンパクトな空間は扱いやすく、単に非コンパクトな空間は扱いにくいのです。そこで σ -コンパクト、パラコンパクト、局所コンパクトという概念が補足的に出てきます。それぞれコンパクトではないにしろ、コンパクトのある側面を一般化し、よく出てくる対象がみたす性質としてまとめあげた概念です。

0.3.4.8 数学の本を読むときに

数学で大事なことは、何の本を読むかとかそんなことよりも、何一つわからないしわかるようにもならないことを前提に殴り合い続けると言う決意と覚悟を決めなければなりません。私自身、数学の大学院をでてなお、いまだに学部一年レベルの数学ですら的確に理解を示せる反例が作りきれません。

指導教官を前に「線型代数と微分積分はわかります」といまだに言える気がしません。計算もきちんとやり切れる自信がありません。三次正方行列の行列式も常に計算ミスなくやり切れる自信はなく、簡単な重積分くらいしかできず、微分方程式も簡単なものしか対処できません。これで何が分かったと言えるのか、不安しかありません。

計算できるようにするのは本当に大事です。それが手でできれば（プログラム勉強の上で）プログラムは書けるようになります。プログラムが書けれ

ば強引に数値計算が回せますし、これでまた専門の勉強・研究も捗ります。プログラムを組む中でもまた微分積分・線型代数が出てくるので、そこでまたバトルが起きます。

計算練習で嫌でも「親しみ」はできている中で、今度はある程度理論面にも踏み込み始められますし、プログラムにアルゴリズムとして組み込むために多少なりとも理論面からのアプローチが必要で、そこでまた理解を深めなければならぬ暴力的な事案に出くわします。そこでまた泣きながら必要な範囲で理論をやりましょう。

あくまでも必要な範囲でやれば十分です。プログラムに関しては最悪ライブラリもあります。四則演算の腕力で押し切る以外に人類に手立ては残っていないのだから、とにかく計算をゴリ押せるだけの筋力、ゴリ押し続けられる体力をつける必要があります。

0.3.4.8.1 数学への取り組み方の一例

特に高校なり何なりで数学は得意だったと思っている学生を中心に、たいていの新入生は舐めきっていると思うのですが、数学に限らず、本を一冊読み切るというだけでも本当につらいことを認識しましょう。理解できているかどうかは度外視しています。

まずはとにかく微分積分と線型代数の本をそれぞれ一冊読んで、概念だけでも暗記した上で、理論の全体像を大きく掴みましょう。

あとはとにかく計算練習が大事です。これに関して、非数学科のカリキュラムをいくつか紹介しながらどれだけ計算練習が大事かコメントしていきます。この計算練習、本当に曲者です。応用系の学科では、学部一年で数学科学部三年でやっとやるようなことさえやります。

例えば力学でいきなりベクトル値の微分やら微分方程式が出てきますし、微分方程式を解くのにラプラス変換やら何やら出てきます。たぶん他の大学でも大きくは変わらないから私がいた大学の話をしましょう。応用物理学科では演習系講義があって、そこでは一年の後半でフーリエ変換の計算練習をしていました。(なぜか物理学科での対応する演習系講義ではフーリエ変換

がありませんでした。)

カリキュラムに組み込まれた数学の講義として、物理・応用物理学科では学部一年の後期でベクトル解析をやり、二年の前期で微分方程式をやり、後期で(複素)関数論をやり、その準備の元でようやく学部三年で量子・統計をやります。電磁気は二年の前期からでした。ここでものっけから偏微分方程式論、フーリエ変換、フーリエ変換の計算のための留数定理がどかんと出てくることがあり、とにかく計算できないと物理が先に進まないのです。それでも物理はのんびりしたもので本当に楽です。

応用物理・物理共に学部二年で回路理論がありました。この分野ではフーリエ級数・フーリエ変換は大体全ての前提になっています。具体的な方程式を解くのにラプラス変換を計算結果の公式だけとにかく使うことになっています。これも関数論の留数定理を使います。教科書を見るなり工学系の人の話を聞くと、そこまで数学をかつちりやりきれないため公式利用に舵を切るようです。

私の観測範囲では、応用化学科は一年の前期から量子化学が叩き込まれていました。講義で何をどこまでやったのかはわからないものの、使っている教科書にはシュレディンガー方程式が載っていました。偏微分すらおぼつかない学部一年のはじめの時点で、です。量子力学はベクトル解析の基本的な計算も使うのでかなりつらいでしょう。

化学科は一年の前期、つまり入学直後の時点で専門科目として電磁気が入っていました。シラバスを見る限り最初の数回はベクトル解析に使っていました。多変数の微分も知らない中で多変数のベクトル値関数の解析学をさらっとやり、あとはいきなり偏微分方程式の解析をする電磁気本体です。修羅の道としか思えません。物理学科が一年後期にベクトル解析を半期かけてやったあと、ようやく二年から三年の前期を使って一年半でやることを一年のしょっぱなから叩き込まれるのが(化学含めた)応用系の学科のカリキュラムだと思ってください。専門をやるのに前提知識として必要だから、先に叩き込まざるを得ないのです。数学の理論・理屈よりも計算追い切る剛腕が必要です。

こんな状況なので、理屈よりも計算をゴリ押せるパワーとよくわからなくても使い倒す決意と覚悟が必要です。計算結果がおかしい時、純数学的な判断ができない以上、各専門に合わせたその直観で「これは結果がおかしいから何かどこかおかしい」と修正し切るパワーが必要です。数学それ自体に現を抜かす暇がありません。

まず教官陣の数学が恐ろしく粗雑で無茶をするので、それも数学に必要以上に時間を割いても無駄なことの一つに挙げられるでしょう。これも考えようによっては励みになるでしょう。実際、固体物理の講義で工学系出身の教官が、ベクトルの内積をベクトルで割った何かをベクトルと呼んでいました。これは高校レベルの話でさえあります。数学の「理解」はこんな程度でもいいのです。物理的な結論が正しければ数学的な事情は無視です。それでいいので、とにかく計算をやりきれるようになりましょう。

あとはプログラムを組めるようになりましょう。もちろん近似計算です。しかしこれはこれで大きなメリットがあります。全て定義に従ったところから話を組むので、かえって微分方程式なり線型代数なりの概念的な基礎をいじくり倒せないという意味がわかりません。理論に触れる機会とさえいってもいいでしょう。高校の微分は「ある関数を微分するととにかく結果はこうなる」という写像的な見方で処理することがよくあります。単項式の微分は肩から n を落としてうんぬん、というやつです。この知識・理解は数値計算で使えないのです。

定義に従って近似をして、定義に基づいて離散化して議論します。計算それ自体のためにいちいち定義に戻るので、数学それ自体をやるのと同じような効果があります。変に厳密な数学をやるよりよほど実践的に数学それ自体のスタンスが身につきます。

偏微分方程式をやろうとすると、常微分方程式で普通やる差分法だけでなく、弱形式に則った有限要素法が実用的な計算法として出てきます。この弱形式、非数学系だと「物理的な意味がよくわからない」ということで感覚的に掴みにくいようです。この辺もなんというか「数学科の数学」という趣があります。

数値計算をやりだすと計算の誤差が問題になります。適当な極限で本当に真の解に収束するか気になる人も出てくるでしょう。ここでは本格的なイプシロン-デルタによる極限処理が出てこざるを得ません。それも実用上の近似の文脈からまさに正当な形で出てきます。

正直、いまの私は数値計算に対する感覚があまりありません。しかし物理や工学の理論系では、英語・数学・基礎物理並の基本武装になってきているようです。一方、その数値計算の正当化を考えることで解析学基礎に直につながりさえするのです。ここに力点を置いて勉強すると廃れない知識・理解になってくれるはずです。

よくわからない現象に対して、とりあえず数値計算でシミュレーションかけてみて何が起きているか目で見ること、物理なり何なりの理解の助けにもなります。当然プログラムの技量も上がりますし、アルゴリズムのような情報系の基礎(らしい)こともある程度目に入ります。役に立つのは当然として大事な技術ですし、鍛えるべき剛腕です。

0.3.4.8.2 節終了

0.3.4.9 数学書の読み方・勉強の仕方

きちんと書く。特に定型処理は何度も書いて身体に覚えこませる。テクニカルな処理も書かないとついていけない。

式だけではなくきちんと文章も書く。そんなにガチガチ書き込まなくてもいい。きちんと文章として筋が追えるようにする。

0.3.4.10 論文や教科書の読み方

- URL

これは医学系の論文の読み方という体での解説なので、数学・物理系の論文、もっといえば教科書の読み方とはずれている点があります。それでもいくつか参考になる部分はあります。ぜひ有効活用してください。

0.3.4.11 復習の仕方

「 $A \cap B = A$ と $A \subset B$ は同値である」くらいの証明ならくり返し音読するだけでも構いません。書くのは時間がかかります。暗記するまでやり込みましょう。

ただ後で解析学の本道に入っていくと鬼のような不等式評価が出てきますし、音読では頭に入りきらないことがあるかもしれません。その場合は手を動かして書くことにしましょう。くり返し書いていると頭の中で不等式処理ができるようになってきます。これも頭の中で処理がしきれぬくらいに完璧に叩き込むのがいいです。

激しい不等式評価を手が書いた方がいい理由は他にもあります。今後、実際にあなたがそれをやっていかなければいけないからです。いろいろな手法を手・身体に覚えこませる必要があります。はじめて取り組む不等式処理を頭の中で展開していくのは大変です。そのためにくり返し手で書いて身体

に覚えこませる必要があります。非常に息の長い不等式評価も多いので、そもそも覚えていられないという問題もあります。

よく勉強するときには書くのがいいと言われます。しかしやらなければならないのはきちんと理解すること、必要なことはきちんと覚えることです。必ずしも書かなければできないことばかりではありません。復習も工夫してやってみてください。

0.3.4.12 数学の雑なところ

たまにおそろしく雑な概念・用語・記号濫用をする一方で、その裏返しで厳格な言葉遣いを要求されることがあります。鬱陶しいとは思いますが、数学に限らず私が知る限りの学問でよくあることでもあります。よく挙げられるのは「コホモロジーは割り算」のような話です。これに関して、以前 Twitter で物理の人が「自分も数学者の視点や言葉遣いには慣れてきたつもりだったが、まだまだ甘かった」とコメントしていました。

「数学は類推の学問」と呼ばれることもあります。これに関して「数学は濫用の学問だ」と言う人さえいます。似たような概念は全部同じようなものとして処理してしまうので、もうそれは類推というより濫用のレベルだろうと、そのくらい融通無碍に爆走します。

慣れてくればそれが気楽なもの確かです。しかしそれは慣れてくれば、というおそろしく高いハードルを越えたあとの話です。数学サイドが雑な言葉遣いをしているから、自分も適当でも大丈夫だろうと思って適当に言葉を使っていたら数学関係者から指摘をくらいまくった、というのはよく聞く話です。一つ一つをきちんとわかった上で濫用しても大丈夫だから濫用する、というひどいことをやっています。

この講座ではなるべく説明した上で数学的に適切な言葉使いになるように心がけます。「それ大丈夫なの?」と思うことがあれば、アンケートなりメールの返信なり、適当な手段で連絡してください。

パッと思いつくところをいくつか紹介しておきましょう。思いついたら随

時追加していこうと思います。

0.3.4.13 いろいろな定義, 同値な定義

同値命題などを使って同値な定義をいろいろ作り, 使い分けることがある。行列式もそう。

0.3.4.14 具体例での確認

ゲルファントの $SL(2, \mathbb{R})$ での確認事案。

0.3.4.15 研究者に聞く勉強の仕方

以前 Twitter で話題になっていたので, ここでも取り上げておきます。

論文を読むときは一つの問題を複数の問題 (論文) にわけて順次解決していくのがふつうです。関連する論文や研究をたくさん見て概要をつかんでから各論に入っていく方が, 個々の論文の意義や問題意識, そして何より議論の細部の構造まで見抜きやすくなり, 理解しやすくなるという話が出ていました。

ふつうの勉強でも同じです。特に「文系で数学が苦手だったがリベンジしたい」というタイプの方に多いのが, とりあえず本を買ってきてそれを最初からゴリゴリに読み込んでいき, つらくなって挫折する, という流れです。

これは窓のない高層ビルを階段で一歩ずつ昇っていくようなものです。高いところまで行けば見晴らしもよく見える景色も壮観でしょう。しかしそんな苦行のようなことをしては, 頂上に辿り着くまでに挫折しない方がおかしいのです。

高層ビルの階段を一歩一歩進んでいくのは構いませんが, せめて一度, 窓があるビルをエレベーターで昇って景色を眺めてみてからにしませんか? というのがこの講座で提案するスタイルです。自力ではなくてもとりあえず見晴らしのいい景色を眺めることから始めましょう。

0.3.4.16 他の通信講座一覧

次のページに私が作った・作っている通信講座の一覧を載せています。一部を除いて無料です。あなたの興味に合わせて追加でいろいろ受講してみてください。

- [中高数学から大学レベルの数学・物理に関する無料通信講座](#)

各案内ページ自体もコンテンツとして意味があるように作ってあります。案内ページだけ見ても参考になるし、勉強する意欲が湧いてくるというコメントもたくさん頂いているので、ぜひ各案内ページだけでも眺めてみてください。

物理数学系ミニ講座以外のお勧めとしては、[応用からの中高数学再入門 中高数学駆け込み寺](#)です。これは微分方程式のシミュレーション・プログラミングに関して、具体的なコードの紹介も合わせた議論があります。言語としては 2018 年現在、ある程度一般的に使われていて情報が多く、勉強しやすいであろう Python を使っています。

もしあなたが数学を数学科水準でがっちりやりたいなら、それ専用の有料の通信講座も準備しています。これは PDF での教材販売もあります。あなたの状況に合わせて使ってください。

0.3.4.17 その他案内: 数学ビギナーズマニュアル

微分積分、線型代数といった数学それ自体のコンテンツとは別に、数学ビギナーズマニュアルという数学を勉強する上で大事なことをまとめたミニ講座も作る予定です。2018/8 時点では、例えば次のような内容を予定しています。

- 数学のこんな雑なところが嫌だ: 「『コホモロジーは割り算みたいなものなので』みたいな概念や記号の濫用はやめてくれ」

- 数学ジャーゴン集とその気分: 「—と仮定しても一般性を失わない」ってどういうこと?
- 数学の記号運用: 「ベクトルは太字で \mathbf{a} みたいに書いてほしい」
- いろいろな記号の読み方: 「 ψ とか読めないんですが」
- 数学書の読み方: 「何であんなにわかりづらく書くんですか」

ある程度形になってきたら適当なタイミングでアナウンスする予定です。もしこれが気になるなら適当な手段で問い合わせてください。

0.3.4.18 大人のための勉強法

プログラマー・ソフトウェアエンジニア向けの勉強法として次のような質問と回答がありました。個々の単語 (技術要素) は時代によって変わるので参考程度にしてください。大事なのは本質的な部分です。

- どうやってテクノロジーを追いかけていますか? ジュニアソフトウェア開発者として応募したときに CI/CD、クラウドコンピューティング、Docker とか大量のことを要求されました。もういっぱいいっぱいです。

深呼吸しようか。そしてリストを3つ作れ。

使い方を知っていて、最小限の調査で済むテクノロジー (例: 「CI/CDパイプラインのセットアップの仕方を知っている」) 企業のインフラで使われていることを知っているテクノロジー (例: 「Dockerをいつ、何故使うかは知っている。だけど Dockerfile は書いたことがない」) 聞いたことはあるけど何者なのか見当がつかないテクノロジー (例: 「Kubernetes というのは聞いたことがあるけど、何のために使うのか見当がつかない」) リスト (1) はコンフォートゾーンにあたる。履歴書のトップに書いて、これで飯を食っていける。このリストを増やすことに努めろ。月に一つか、四半期に一つか、それがどれだけ「でか

い」かによる（例：「Javaを学ぶ」）。

リスト (2) も同じぐらい重要だ。このリストは、どのようにコミュニケーションをとり、アーキテクチャ上の決定を下すかを示している。サーバーレスアーキテクチャへ移行することのトレードオフを天秤にかけることは、それが何なのかを知らないとできない。ただ Lambda を使う理由を知っていれば、Lambda について話すことはできる。

リスト (3) は恐怖だ。このリストの会話では深い水底に落ちた幼児のような感覚に陥るだろう。

「いっぱいいっぱい」を乗り越えるにはどうしたらいいか？簡単だ。一日に1時間でも使って、テクノロジーをリスト (3) によってリスト (2) に移せ。

本気で信じてもらっていいけど、リストに挙がっているテクノロジーで複雑なものなんて一つもない。午後だけで、シンプルな CI/CD ビルドのセットアップの方法を覚えることができる。午後だけで、Dockerfile を一通り舐めることができる。Docker のエキスパートにはなれないだろう。だけど話せるようにはなれる。

細分化すればするほど新しいパーツをつまみ上げてメンタルモデルにはめ込むのが簡単になる。Docker を理解したら Kubernetes の価値も理解できるだろう。企業が Kubernetes へ移行している理由を理解したら Knative の価値も理解できるだろう。

GitHub のプロファイルがどれだけ荘厳に見えても、最新の開発手法の全部がエキスパートだなんて奴はいない。最高の開発者ってのは単に情勢を理解している、つまりツールを使う「理由」と「方法」を理解している。そして必要な時が来たら仕組みを学ぶんだ。

深呼吸して、ツールを一度に一つ、夜にでも読んでいけ。ピースがどれだけ速く組み合わさり始めるか、きっと驚くだろう。

0.3.4.19 節終了

参考文献

- [1] 明出伊類似, 尾畑伸明. 『量子確率論の基礎』. 牧野書店, 9 2003.
- [2] Robert A. Adams and John J.F. Fournier. *Sobolev Spaces*. Academic Press, 10 2012.
- [3] L. V. Ahlfors, 乾吉笠原. 『複素解析』. 現代数学社, 3 1982.
- [4] M. Aigner and G. Ziegler. 『天書の証明』. 丸善出版, 9 2012.
- [5] 赤池弘次. エントロピーとモデルの尤度. 日本物理學會誌, Vol. 35, No. 7, pp. 608–614, 1980.
- [6] 赤池弘次. 統計的推論のパラダイムの変遷について. 統計数理研究所彙報, Vol. 27, No. 1, pp. 5–12, 1980.
- [7] 秋月康夫. 『晩近代数学の展望』. 筑摩書房, 12 2009.
- [8] Herbert Alexander and John Wermer. *Several Complex Variables and Banach Algebras*. Springer, 10 2013.
- [9] F. J. Almgren and E. Lieb. *Symmetric decreasing rearrangement is sometimes continuous*, Vol. 2. 2 1989.
- [10] Allen Altman and Steven Kleiman. *A Term of Commutative Algebra*. Worldwide center of mathematics, 4 2013.
- [11] 青木貴史, 山崎晋, 片岡清臣. 『超関数・FBI変換・無限階擬微分作用素』. 共立出版, 6 2004.
- [12] 青柳碧人. 『浜村渚の計算ノート』. 講談社, 6 2011.
- [13] 青柳碧人. 『浜村渚の計算ノート (1)』. 講談社, 11 2013.

- [14] A. Arai and M. Hirokawa. On the existence and uniqueness of ground states of generalized spin-boson model. *J. Funct. Anal.*, Vol. 151, pp. 455–503, 1997.
- [15] Asao Arai. Infinite dimensional analysis and analytic number theory. *Acta Applicandae Mathematica*, Vol. 63, pp. 41–78, 9 2000.
- [16] 新井朝雄, 江沢洋. 『場の量子論と統計力学』. 日本評論社, 6 1988.
- [17] 新井朝雄, 江沢洋. 『量子力学の数学的構造 II』. 朝倉書店, 7 1999.
- [18] 新井朝雄, 江沢洋. 『量子力学の数学的構造 I』. 朝倉書店, 7 1999.
- [19] 新井朝雄. 『フォック空間と量子場 上』. 数理物理シリーズ. 日本評論社, 8 2000.
- [20] 新井朝雄. 『フォック空間と量子場 下』. 数理物理シリーズ. 日本評論社, 8 2000.
- [21] 新井朝雄. 『量子現象の数理』. 朝倉物理学体系. 朝倉書店, 2 2006.
- [22] 新井朝雄. 『物理の中の対称性—現代数理物理学の観点から』. 日本評論社, 1 2008.
- [23] 新井朝雄. 『量子統計力学の数理』. 共立出版, 7 2008.
- [24] 新井朝雄. 『量子数理物理学における汎関数積分法』. 共立出版, 8 2010.
- [25] 新井朝雄. 『ヒルベルト空間と量子力学 改訂増補版』. 共立出版, 7 2014.
- [26] AraiAsao and HirokawaMasao. Ground states of a general class of quantum field hamiltonians. *Reviews in Mathematical Physics*, Vol. 12, pp. 1085–1135, 2000.
- [27] H. Araki and E. J. Woods. Representations of the canonical commutation relations describing a nonrelativistic infinite free bose gas. *J. Math. Phys.*, Vol. 4, pp. 637–662, 1963.
- [28] 荒木不二洋. 『量子場の数理』, 岩波講座 現代の物理学. 岩波書店, 1 1993.
- [29] Thierry Aubin. *Some Nonlinear Problems in Riemannian Geome-*

-
- try. Springer, 6 1998.
- [30] Steve Awodey. *Category Theory*. Oxford Univ Pr, 8 2010.
- [31] 東野圭吾. 『探偵ガリレオ』. 文藝春秋, 2 2002.
- [32] 東野圭吾. 『容疑者 X の献身』. 文藝春秋, 8 2008.
- [33] 東野圭吾. 『容疑者 x の献身 スタンダード・エディション [dvd]』, 3 2009.
- [34] V. Bach, J.Fröhlich, I. M. Sigal. Quantum electrodynamics of confined nonrelativistic particles. *Adv. Math*, Vol. 137, pp. 299–395, 1998.
- [35] Augustin Banyaga and David Hurtubise. *Lectures on Morse Homology*. Springer, 10 2004.
- [36] H. Baumgartel. *Operator Algebraic Methods in Quantum Field Theory*. Vch Pub, 10 1995.
- [37] Vladimir Berkovich. *Spectral Theory and Analytic Geometry over Non-Archimedean Fields*. American Mathematical Society, 8 2012.
- [38] B. Blackadar. *K-Theory for Operator Algebras*. Cambridge University Press, 9 1998.
- [39] Vladimir I. Bogachev. *Measure Theory*. Springer, 11 2006.
- [40] Hans Jürgen Borchers. Quantum field theory as dynamical system. *LQP archive*, pp. 1–19, 2002.
- [41] Hans Jürgen Borchers. *Translation Group and Particle Representations in Quantum Field Theory*. Springer, 4 2014.
- [42] O. Bratteli and D. Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, Vol. 1 of *Theoretical and Mathematical Physics*. Springer Berlin Heidelberg, 11 2010.
- [43] O. Bratteli and D. Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, Vol. 2 of *Theoretical and Mathematical Physics*. Springer Berlin Heidelberg, 7 2013.
- [44] H. Brezis. *Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differ-*

- ential Equations*. Springer, 11 2011.
- [45] H. Brezis, 宏藤田, 芳雄小西. 『関数解析-その理論と応用に向けて』. 産業図書, 10 1988.
- [46] J. Brothers and W. P. Ziemmer. Minimal rearrangements of sobolev functions. *J. Reine Angew. Math.*, Vol. 384, pp. 153–179, 1988.
- [47] D. Buchholz and H. Grundling. Quantum systems and resolvent algebras. *arXiv:13060860*, pp. 1–15, 6 2013.
- [48] Sebastiano Carpi, Robin Hillier, Yasuyuki Kawahigashi, and Roberto Longo. Spectral triples and the super-virasoro algebra. *Commun. Math. Phys.*, Vol. 295, pp. 71–97, 2010.
- [49] Sebastiano Carpi, Yasuyuki Kawahigashi, Roberto Longo, and Mihaly Weiner. From vertex operator algebras to conformal nets and back. *Mem. Amer. Math. Soc.*, Vol. to appear, pp. 1–46, 2015.
- [50] Henri Cartan. *Elementary Theory of Analytic Functions of One or Several Complex Variables*. Dover, 7 1995.
- [51] 遅塚忠躬. 『フランス革命 歴史における劇薬』. 岩波書店, 12 1997.
- [52] S C Coutinho. *A Primer of Algebraic D-Modules*. Cambridge University Press, 5 1995.
- [53] David A. Cox, John Little, and Donal O’shea. *Ideals, Varieties, and Algorithms: An Introduction to Computational Algebraic Geometry and Commutative Algebra*. Springer, 11 2010.
- [54] Michael G. Crandall, Hitoshi Ishii, and Pierre-Louis Lions. User’s guide to viscosity solutions of second order partial differential equations. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 27, pp. 1–67, 1992.
- [55] Keenan Crane, Fernando de Goes, Mathieu Desbrun, and Peter Schroder. Digital geometry processing with discrete exterior calculus. p. 145, 2 2018.
- [56] Georges de Rham. *Differentiable Manifolds: Forms, Currents, Harmonic Forms*. Spinger-Verlag, 10 2011.

-
- [57] Amir Dembo and Ofer Zeitouni. *Large Deviations Techniques and Applications*. Springer, 2009.
- [58] J. Dereziński. Introduction to representations of the canonical commutation and anticommutation relations. *arXiv:math-ph/0511030v2*, pp. 1–79, 2005.
- [59] J. Dereziński and V. Jakšić. Spectral theory of pauli-fierz operators. *J. Func. Anal.*, pp. 243–327, 2001.
- [60] J. Dereziński, V. Jakšić, and A. Pillet. Perturbation theory of w^* -dynamics, liouvilleans and kms-states. *Rev. Math. Phys.*, Vol. 15, pp. 447–489, 2003.
- [61] Jared Diamond. 『銃・病原菌・鉄 (上) 1万3000年にわたる人類史の謎』. 草思社, 2012.
- [62] Diamond Jared. 『銃・病原菌・鉄 (下) 1万3000年にわたる人類史の謎』. 草思社, 2012.
- [63] Paul M. Dirac, 洋江沢. 『一般相対性理論』. 筑摩書房, 12 2005.
- [64] Simon Donaldson. *Riemann Surfaces*. Oxford University Press, 5 2011.
- [65] W. Dunham, 重雄一樂, 敏實川. 『微積分名作ギャラリー—ニュートンからルベーグまで』. 日本評論社, 11 2009.
- [66] W. Dybalski. Spectral theory of automorphism groups and particle structures in quantum field theory. *arxiv:0901.3127v1*, 2009.
- [67] A. Einstein. Zur elektrodynamik bewegter körper. *Annalen der Physik*, Vol. 322, pp. 891–921, 7 1905.
- [68] David Eisenbud and Joe Harris. *The Geometry of Schemes*. Springer, 12 1999.
- [69] Richard Ellis. *Entropy, Large Deviations, and Statistical Mechanics*. Springer Berlin Heidelberg, 11 2005.
- [70] Lawrence C. Evans. *Partial Differential Equations*. American Mathematical Society, 4 2010.

- [71] 江沢洋. 『力学—高校生・大学生のために』. 日本評論社, 2 2005.
- [72] 江沢洋. 『だれが原子をみたか』. 岩波書店, 1 2013.
- [73] Otto Forster. *Lectures on Riemann Surfaces*. Springer, 10 2013.
- [74] Theodore Frankel. *The Geometry of Physics: An Introduction*. Cambridge University Press, 11 2003.
- [75] 藤岡敦. 『具体例から学ぶ多様体』. 裳華房, 3 2017.
- [76] 藤原正彦. 『天才の栄光と挫折—数学者列伝』. 文藝春秋, 9 2008.
- [77] 深谷賢治. 『数学者の視点』. 岩波書店, 1 1996.
- [78] 深谷賢治. 『電磁場とベクトル解析』. 岩波書店, 1 2004.
- [79] 舟木直久. 『確率論』. 朝倉書店, 11 2004.
- [80] 学研教育出版. 『中 1 英語・数学・国語・理科・社会 (セシルマクビー スタディコレクション)』. 学研マーケティング, 8 2015.
- [81] 学研教育出版. 『中 2 英語・数学・国語・理科・社会 (セシルマクビー スタディコレクション)』. 学研マーケティング, 8 2015.
- [82] 学研教育出版. 『中 3 高校入試 英語・数学・国語・理科・社会 (セシルマクビー スタディコレクション)』. 学研マーケティング, 8 2015.
- [83] B. Gelbaum and J. Olmsted. *Counterexamples in Analysis*. Dover, 6 2003.
- [84] Howard Georgi. 『物理学におけるリー代数アイソスピンから統一理論へ』. 吉岡書店, 10 2010.
- [85] David Gilbarg and Neil S. Trudinger. *Elliptic Partial Differential Equations of Second Order*. Springer, 4 2013.
- [86] Robert C. Gunning. *Lectures on Riemann Surfaces, Jacobi Varieties*. Princeton University Press, 3 2015.
- [87] Rudolf Haag. *Local Quantum Physics: Fields, Particles, Algebras*. Springer, 1996.
- [88] 芳賀和夫. 『オリガミクス 幾何図形折り紙』, 第 1 巻. 日本評論社, 10 1999.
- [89] Richard Hamilton. The inverse function theorem of Nash and

- moser. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 7, pp. 65–222, 1982.
- [90] 田崎晴明, 原隆. 『相転移と臨界現象の数理』. 共立出版, 6 2015.
- [91] G. Hardy and J. Littlewood. 『不等式』. シュプリンガーフェアラーク東京, 8 2012.
- [92] Robin Hartshorne. *Algebraic Geometry*. Springer, 4 1997.
- [93] 長谷川浩司. 『線型代数』. 日本評論社, 3 2015.
- [94] 服部哲弥. 『Amazon ランキングの謎を解く確率的な順位付けが教える売上の構造』. 化学同人, 5 2011.
- [95] Friedrich W. Hehl and Yuri N. Obukhov. *Foundations of Classical Electrodynamics: Charge, Flux, and Metric*. Springer, 8 2003.
- [96] Lester L. Helms. *Potential Theory*. Springer, 6 2009.
- [97] 日合文雄, 柳研二郎. 『ヒルベルト空間と線型作用素』. 牧野書店, 7 1995.
- [98] 平井武. 『線形代数と群の表現 II』. 朝倉書店, 11 2001.
- [99] 平井武. 『線形代数と群の表現 I』. 朝倉書店, 11 2001.
- [100] Morris W. Hirsch, Stephen Smale, and Robert L. Devaney. *Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos*. Academic Press, 3 2012.
- [101] 堀畑和弘, 長谷川浩司. 『常微分方程式の新しい教科書』. 朝倉書店, 2016.
- [102] 堀田昌寛. 『入門 現代の量子力学量子情報・量子測定を中心として』. 講談社, 7 2021.
- [103] 堀田良之. 『加群十話—代数学入門』. 朝倉書店, 10 1988.
- [104] Lars Hörmander. A history of existence theorems for the cauchy-riemann complex in l^2 spaces. *Journal of Geometric Analysis*, Vol. 13, No. 2, pp. 329–357, 2 2003.
- [105] 一樂重雄. 『集合と位相 そのまま使える答えの書き方』. 講談社サイエンティフィック, 4 2001.
- [106] 伊原康隆. 『志学数学 研究の諸段階 発表の工夫』. 丸善出版, 7 2012.

- [107] 磯崎洋. 『多体シュレーディンガー方程式』. 丸善出版, 2012.
- [108] 伊藤清三. 『ルベーク積分入門』. 裳華房, 4 1963.
- [109] 岩永恭雄, 佐藤眞久. 『環と加群のホモロジー代数的理論』. 日本評論社, 10 2002.
- [110] M. Kac, 陽一郎高橋, 眞澄中嶋. 『Kac 統計的独立性』. 数学書房, 4 2011.
- [111] Mark Kac. Can one hear the shape of a drum? *American Mathematical Monthly*, Vol. 73, pp. 1–23, 1966.
- [112] 嘉田勝. 『論理と集合から始める数学の基礎』. 日本評論社, 12 2008.
- [113] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [114] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras: Advanced Theory*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [115] 金谷健一. 『これなら分かる応用数学教室-最小二乗法からウェーブレットまで』. 共立出版, 6 2003.
- [116] Ioannis Karatzas and Steven Shreve. *Brownian Motion and Stochastic Calculus*. Springer, 8 1991.
- [117] 笠原乾吉. 『複素解析 1 変数解析関数』. 筑摩書房, 8 2016.
- [118] 柏原正樹, 河合隆裕, 木村達雄. 『代数解析学の基礎』. 紀伊国屋, 11 2008.
- [119] 柏原正樹. 『代数解析概論』. 岩波書店, 3 2008.
- [120] 桂利行. 『代数幾何入門』. 共立出版, 10 1998.
- [121] 桂利行. 『代数学 II 環上の加群』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [122] 川北稔. 『砂糖の世界史』, 岩波ジュニア新書. 岩波書店, 7 1996.
- [123] 川村みゆき. 『多面体の折紙正多面体・準正多面体およびその双対』. 日本評論社, 11 1995.
- [124] 川添愛. 『白と黒のとびらオートマトンと形式言語をめぐる冒険』. 東京大学出版会, 4 2013.

-
- [125] 圏論の歩き方委員会. 『圏論の歩き方』. 日本評論社, 9 2015.
- [126] S. Khaleelulla. *Counterexamples in Topological Vector Spaces*. Springer Berlin Heidelberg, 7 1982.
- [127] 金成煥, 山本昌宏. 『熱方程式で学ぶ逆問題 Fourier 解析関数解析から数値解析まで』. サイエンス社, 3 2008.
- [128] 木村達雄. 『佐藤幹夫の数学』. 日本評論社, 9 2014.
- [129] 北原晴夫, 河上肇. 『調和積分論』. 近代科学社, 9 1991.
- [130] Shoshichi None Kobaashi and Katsumi None Nomizu. *Foundations of Differential Geometry I*. Wiley, 2 1996.
- [131] 小林昭七. 『複素幾何』. 岩波書店, 9 2005.
- [132] 小林昭七. 『顔をなくした数学者-数学つれづれ』. 岩波書店, 7 2013.
- [133] 小林俊行, 大島利雄. 『リー群と表現論』. 岩波書店, 4 2005.
- [134] 小平邦彦. 『新・数学の学び方』. 岩波書店, 1 2015.
- [135] 小平邦彦. 『複素多様体論』. 岩波書店, 1 2015.
- [136] 国立天文台. 『理科年表 平成 25 年版 机上版』. 丸善出版, 11 2013.
- [137] A. N. Kolmogorov and S. V. Fomin. *Introductory Real Analysis*. Dover, 6 1975.
- [138] 小松彦三郎. 『佐藤超函数論入門』. 数理解析研究所講究録, pp. 1-174, 10 1973.
- [139] 今野浩. 『カーマーカー特許とソフトウェア-数学は特許になるか』. 中央公論社, 12 1995.
- [140] 今野宏. 『微分幾何学』. 東京大学出版会, 10 2013.
- [141] ことりん. 『偏微分方程式のお話 解の存在について』. 関西すうがく徒のつどい, pp. 1-25, 3 2012.
- [142] Amy Langville, Carl Meyer, 和生岩野, 利明黒川, 洋黒川. 『Google PageRank の数理-最強検索エンジンのランキング手法を求めて-』. 共立出版, 10 2009.
- [143] F. William Lawvere and Robert Rosebrugh. *Sets for Mathematics*. Cambridge University Press, 4 2003.

- [144] Tom Leinster. Rethinking set theory. p. 8, 2012.
- [145] Ulf None Leonhardt and Thomas G. Philbin. Transformation optics and the geometry of light. *arxiv*, p. 72, 7 2008.
- [146] E. H. Lieb and M. Loss. *Analysis*. Amer. Math. Soc., 4 2001.
- [147] E. H. Lieb and R. Seiringer. *The Stability of Matter in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 11 2009.
- [148] E. H. Lieb, R. Seiringer, J. Solovej, and J. Yngvason. *The Mathematics of the Bose Gas and its Condensation (Oberwolfach Seminars)*. Birkhaeuser Basel, 7 2005.
- [149] E. H. Lieb and B. Simon. Thomas-fermi theory of atoms, molecules and solids. *Adv. in Math.*, Vol. 23, pp. 22–116, 1977.
- [150] E. H. Lieb and J. Yngvason. The physics and mathematics of the second law of thermodynamics. *arXiv:cond-mat/9708200*, p. 101, 8 1997.
- [151] E. H. Lieb and J. Yngvason. The entropy concept for non-equilibrium states. *arxiv:1305.3912*, pp. 1–23, 2013.
- [152] Elliot H. Lieb. The stability of matter: from atoms to stars. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 22, No. 1, pp. 1–49, 1990.
- [153] Elliot H. Lieb. *Quantum Mechanics, The Stability of Matter and Quantum Electrodynamics*. arXiv, 1 2004.
- [154] J.Lörinczi, F. Hiroshima, V. Betz. *Feynman-Kac-Type Theorems and Gibbs Measures on Path Space: With Applications to Rigorous Quantum Field Theory*. Walter De Gruyter, 6 2011.
- [155] J.Lörinczi, R. A. Minlos, Herbert Sphon. Infrared regular representation of the three-dimensional massless nelson model. *Lett. Math. Phys.*, Vol. 59, pp. 189–198, 3 2002.
- [156] 松本幸夫. 『多様体の基礎』. 岩波書店, 9 1988.
- [157] 松島与三. 『多様体入門』. 裳華房, 4 2017.
- [158] 松坂和夫. 『集合・位相入門』. 岩波書店, 6 1968.

-
- [159] John Milnor. *Morse Theory*. Princeton University Press, 1963.
- [160] John Willard Milnor. *Topology from the Differentiable Viewpoint*. Princeton Univ Pr, 11 1997.
- [161] 三ツ矢和弘. 『やさしい理系数学』. 河合出版, 7 2013.
- [162] 宮島静雄. 『ソボレフ空間の基礎と応用』. 共立出版, 8 2006.
- [163] 持橋大地, 大羽成征. 『ガウス過程と機械学習』. 機械学習プロフェッショナルシリーズ. 講談社, 3 2019.
- [164] 森本光生. 『復刊 佐藤超関数入門』. 共立出版, 9 2000.
- [165] 森田茂之. 『微分形式の幾何学』. 岩波書店, 10 2016.
- [166] Mohammad Sal Moslehian. The counterexamples in functional analysis. *On the internet*, 2002.
- [167] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん 2』. ポプラ社, 10 2014.
- [168] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん 3』. ポプラ社, 10 2015.
- [169] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん』. ポプラ社, 4 2015.
- [170] 肖鋒, 長崎孝夫. 『数値流体解析の基礎 Visual C++ と gnuplot による圧縮性・非圧縮性流体解析』. コロナ社, 1 2020.
- [171] Mikio Nakahara. *Geometry, Topology and Physics*. CRC Press, 6 2003.
- [172] 中村周. 『量子力学のスペクトル理論』. 共立出版, 7 2012.
- [173] 夏目利一, 森吉仁志. 『作用素環と幾何学』. 数学メモワール, 6 2001.
- [174] Michael A. Nielsen and Issac L. Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 12 2010.
- [175] 西川青季. 『幾何学的変分問題』. 岩波書店, 4 2006.
- [176] 西野利雄. 『多変数関数論』. 東京大学出版会, 11 1996.
- [177] 登坂宣好, 大西和栄, 山本昌宏. 『逆問題の数理と解法-偏微分方程式の逆解析』. 東京大学出版会, 12 1999.
- [178] 野口潤次郎. 『多変数解析関数論学部生へおくる岡の連接定理』. 朝倉書店, 4 2013.
- [179] Katsumi Nomizu and Hideki Ozeki. The existence of complete

- riemannian metrics. *Proceedings of the American Mathematical Society*, Vol. 12, No. 6, pp. 889–891, 12 1961.
- [180] 小田忠雄. 『数学の常識・非常識—由緒正しい $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ 入力法』, 第 4 巻. 日本数学会, 5 1999.
- [181] 緒方芳子, 小澤登高. 『東大数理ビデオアーカイブス』, 12 2009.
- [182] 小川洋子. 『博士の愛した数式』. 新潮社, 11 2005.
- [183] 小川洋子, くりた陸. 『博士の愛した数式 (BE · LOVE コミックス)』. 講談社, 2 2006.
- [184] 小川洋子. 『博士の愛した数式 [DVD]』. 角川エンタテインメント, 7 2006.
- [185] Takeo Ohsawa. *L^2 Approaches in Several Complex Variables: Development of Oka-Cartan Theory by L^2 Estimates for the $\bar{\partial}$ Operator*. Springer, 2015.
- [186] 小嶋泉. 『量子場とミクロ・マクロ双対性』. 丸善出版, 7 2013.
- [187] 王城夕紀. 『青の数学』. 新潮社, 7 2016.
- [188] D’Angelo J. P. *Several Complex Variables and the Geometry of Real Hypersurfaces*. CRC Press, 1 1993.
- [189] Scott Pakin. The comprehensive latex symbol list. p. 331, 11 2015.
- [190] Lev Pontryagin. 連続群論 上. 岩波書店, 10 1957.
- [191] Lev Pontryagin. 連続群論 下. 岩波書店, 5 1958.
- [192] Bott Raoul and Tu W. Loring. *Differential Forms in Algebraic Topology*. Springer, 5 1995.
- [193] M. Reed and B. Simon. *Functional Analysis*. Methods of Modern Mathematical Physics. Academic Press, 4 1981.
- [194] Miles. None Reid. *Undergraduate Algebraic Geometry*. Cambridge University Press, 12 1988.
- [195] Lars H ÖRmander. *An Introduction to Complex Analysis in Several Variables*. North-Holland Mathematical Library, 1 1990.
- [196] John Roe. *Elliptic Operators, Topology, and Asymptotic Methods*,

-
- Second Edition*. Chapman and Hall/CRC, 1 1999.
- [197] Walter Rudin. *Real and Complex Analysis*. McGraw-Hill Publishing Company, 8 2005.
- [198] 齋藤元樹, 松本尚浩. Clarkson の不等式の幾つかの証明について. 数理解析研究所講究録, No. 1399, pp. 51–70, 11 2004.
- [199] 齋藤毅. 『集合と位相』. 東京大学出版会, 9 2009.
- [200] 齋藤正彦. 『線型代数入門』. 東京大学出版会, 3 1966.
- [201] Shoichiro Sakai. *C^* -Algebras and W^* -Algebras*. Springer, 12 1997.
- [202] Takashi None Sakai. *Riemannian Geometry*. American Mathematical Society, 5 1996.
- [203] 坂井秀隆. 『常微分方程式』. 東京大学出版会, 8 2015.
- [204] 酒井隆, 小林治, 芥川和雄, 西川青季, 小林亮一. 『幾何学百科 II 幾何解析』. 朝倉書店, 11 2018.
- [205] 酒井高司. 『tex 入門』, 2013.
- [206] 佐武一郎. 『線型代数学 (新装版)』. 裳華房, 6 2015.
- [207] Mikio Sato. Theory of hyperfunctions i. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo. Sect. 1, Mathematics, astronomy, physics, chemistry*, pp. 139–193, 8 1959.
- [208] Mikio Sato. Theory of hyperfunctions ii. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo. Sect. 1, Mathematics, astronomy, physics, chemistry*, pp. 387–437, 8 1960.
- [209] 佐藤健太郎. 『炭素文明論 「元素の王者」が歴史を動かす』. 新潮社, 7 2013.
- [210] M. Schwarz. *Morse Homology*. Springer, 10 1993.
- [211] 赤攝也. 『実数論講義』. 日本評論社, 6 2014.
- [212] Y. Sekine. Magnetism and infrared divergence in a hubbard-phonon interacting system. *arxiv:10082056*, pp. 1–9, 8 2010.
- [213] 関根良紹. 『現代数学探険隊』. 相転移プロダクション, 2017.
- [214] Jean Pierre Serre. *Géométrie algébrique et géométrie analytique*.

- Annales de l'institut Fourier*, Vol. 6, pp. 1–42, 6 1956.
- [215] 志賀浩二. 『無限からの光芒 ポーランド学派の数学者たち』. 日本評論社, 4 1988.
- [216] 島内剛一. 『数学の基礎』. 日本評論社, 1 1971.
- [217] 清水明. 『量子論の基礎-その本質のやさしい理解のために』. サイエンス社, 4 2004.
- [218] 清水明. 『熱力学の基礎』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [219] シンサイモン. 『フェルマーの最終定理』. 新潮社, 5 2006.
- [220] シンサイモン. 『暗号解説 上』. 新潮社, 6 2007.
- [221] シンサイモン. 『暗号解説 下』. 新潮社, 6 2007.
- [222] シンガー I., ソープ J. 『トポロジーと幾何学入門』. 9 1995.
- [223] Alan D. Socal. A really simple elementary proof of the uniform boundedness theorem. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 118, No. 5, pp. 450–452, 5 2010.
- [224] 相転移 P. 『よくわからない数学 色々な反例で遊ぼう』, 10 2013.
- [225] 相転移 P. *Math textbook*. phasetr production, 2014.
- [226] 相転移 P. 『現代数学観光ツアー-物理のための関数解析探訪』. 相転移プロダクション, 8 2016.
- [227] 相転移 P. 『独学のすゝめ 大学受験勉強法あなたが大学受験で失敗・後悔しないために私はなぜあなたにいい大学・難関大に入ってほしいのか』. 相転移プロダクション, 6 2015.
- [228] Jordan Stoyanov. *Counterexamples in Probability: Third Edition*. Dover Publications, 9 2013.
- [229] R. Streater and A. Wightman. *PCT, Spin and Statistics, and All That*. Princeton Univ. Pr., 12 2000.
- [230] 杉浦光夫. 『解析入門 I』. 東京大学出版会, 3 1980.
- [231] 杉浦光夫. 『解析入門 II』. 東京大学出版会, 4 1985.
- [232] 数学のたのしみ編集部. 『数学まなびはじめ 第 1 集』. 日本評論社, 1 2006.

-
- [233] 数学のたのしみ編集部. 『数学まなびはじめ 第 2 集』. 日本評論社, 1 2006.
- [234] 数学のたのしみ編集部. 『数学まなびはじめ 第 3 集』. 日本評論社, 7 2015.
- [235] 数理科学編集部. 『物理の道しるべ-研究者の道とは何か』. サイエンス社, 5 2011.
- [236] George G. Szpiro. 『ケプラー予想』. 新潮社, 4 2005.
- [237] 高木貞治. 『定本 解析概論』. 岩波書店, 9 2010.
- [238] 高瀬幸一. 『群の表現論序説』. 岩波書店, 5 2013.
- [239] 高瀬正仁. 『岡潔—数学の詩人』. 岩波書店, 10 2008.
- [240] 高瀬正仁. 『無限解析のはじまり—わたしのオイラー』. 筑摩書房, 7 2009.
- [241] 高瀬正仁. 『ガウスの数論 わたしのガウス』. 筑摩書房, 3 2011.
- [242] 高瀬正仁. 『近代数学史の成立 解析篇オイラーから岡潔まで』. 東京図書, 6 2014.
- [243] 高瀬正仁. 『微分積分学の史的展開ライブニッツから高木貞治まで』. 講談社, 1 2015.
- [244] 高瀬正仁. 『微分積分学の誕生デカルト『幾何学』からオイラー『無限解析序説』まで』. SB クリエイティブ, 7 2015.
- [245] Masamichi Takesaki. *Theory of Operator Algebras I*. Springer, 2002.
- [246] 竹内外史. 『層・圏・トポス—現代的集合像を求めて』. 日本評論社, 1 1978.
- [247] 田中尚夫. 『選択公理と数学』. 遊星社, 10 2005.
- [248] H. Tasaki. From nagaoka's ferromagnetism to flat-band ferromagnetism and beyond -an introduction to ferromagnetism in the hubbard model. *Progr. Theor. Phys.*, pp. 489–548, 1998.
- [249] 田崎清明. 『数学:物理を学び楽しむために』. On the internet, 2013.
- [250] 田崎清明. 『熱力学—現代的な視点から』. 培風館, 4 2000.

- [251] 寺澤順. 『トポロジーへの招待』. 日本評論社, 4 2012.
- [252] Gerald Teschl. *Mathematical Methods in Quantum Mechanics With Applications to Schrödinger Operators*. American Mathematical Society, 11 2014.
- [253] 東京大学工学部計数工学科数理情報工学コース. 『数理工学への誘い』. 日本評論社, 9 2002.
- [254] 豊田秀樹. 『基礎からのベイズ統計学ハミルトニアンモンテカルロ法による実践的入門』. 朝倉書店, 6 2015.
- [255] 坪井俊. 『幾何学 I 多様体入門』. 東京大学出版会, 4 2005.
- [256] 土基善文. 『 x の x 乗の話』. 日本評論社, 7 2002.
- [257] 内村直之. 『古都がはぐくむ現代数学: 京大数理解析研につどう人びと』. 日本評論社, 11 2013.
- [258] 植村信子. 『たかが数学, されど数学』. 山形大学, 10 2005.
- [259] 梅村浩. 楕円関数論 増補新装版 楕円曲線の解析学. 東京大学出版会, 5 2020.
- [260] J. v. Neumann, 徹広重, 健井上, 敏彦恒藤. 『量子力学の数学的基礎』. みすず書房, 11 1957.
- [261] John von Neumann. 『ノイマン・コレクション 数理物理学の方法』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房, 12 2013.
- [262] John von Neumann. 『ノイマン・コレクション 作用素環の数理』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房, 1 2015.
- [263] Frank W. Warner. *Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups*. Springer, 11 1983.
- [264] 渡辺澄夫. 『データ学習アルゴリズム』. 共立出版, 7 2001.
- [265] 渡辺澄夫. 『代数幾何と学習理論』. 知能情報科学シリーズ. 森北出版株式会社, 4 2006.
- [266] 渡辺澄夫. 『ベイズ統計の理論と方法』. コロナ社, 3 2012.
- [267] Hermann Weyl. *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. Dover Publications, 6 1950.

-
- [268] Hermann Weyl. 『リーマン面』. 岩波書店, 5 2003.
- [269] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 上』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房, 4 2007.
- [270] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 下』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房, 4 2007.
- [271] Hermann Weyl. 『古典群 不変式と表現』. シュプリンガー数学クラシックス. 丸善出版, 7 2012.
- [272] D. Williams, 次郎赤堀, 啓介原, 俊雄山田. 『マルチンゲールによる確率論』. 培風館, 2 2004.
- [273] Pauli Wolfgang. *Theory of Relativity*. Dover Publications, 7 1981.
- [274] 山本昌宏. 『逆問題入門』. 岩波書店, 1 2002.
- [275] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 I』. 朝倉書店, 9 1998.
- [276] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 II』. 朝倉書店, 9 1998.
- [277] 山内恭彦, 杉浦光夫. 『連続群論入門』. 培風館, 8 2010.
- [278] 山崎隆雄. 『初等整数論 数論幾何への誘い』. 共立出版, 5 2015.
- [279] 安田まさえ. 『数学女子 1』. 竹書房, 9 2010.
- [280] 保江邦夫. 『量子の道草-方程式のある風景』. 日本評論社, 1 2009.
- [281] 吉田伸生. 『ルベグ積分入門—使うための理論と演習』. 遊星社, 5 2006.
- [282] 吉田武. 『素数夜曲 女王陛下の LISP』. 東海大学出版会, 6 2012.
- [283] 吉田洋一. 『ルベグ積分入門』. 筑摩書房, 8 2015.
- [284] 吉永正彦. 『周期と実数の 0-認識問題 Kontsevich-Zagier の予想』. 数学書房, 2 2016.
- [285] K. Yosida. *Functional Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 8 1996.
- [286] Laurence Chisholm Young. *Lectures on the calculus of variations and optimal control theory*. Amer Mathematical Society, 8 2000.
- [287] 結城浩. 『数学ガール』. ソフトバンククリエイティブ, 6 2007.
- [288] 結城浩, 茉崎ミュキ. 『数学ガール ゲーデルの不完全性定理 1』. メディアファクトリー, 4 2011.

- [289] 結城浩. 『数学ガールの秘密ノート/ 式とグラフ』. SB クリエイティブ, 7 2013.
- [290] Max Zorn. Characterization of analytic functions in banach spaces. *Annals of Mathematics*, Vol. 46, No. 4, pp. 585–593, 10 1945.
- [291] Max Zorn. Derivatives and fréchet differentials. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 52, pp. 133–137, 1946.
- [292] アインシュタインアルベルト, 内山龍雄. 『相対性理論』. 岩波書店, 11 1988.
- [293] キースデブリン, ゲーリーローデン. 『数学で犯罪を解決する』. ダイヤモンド社, 4 2008.
- [294] ロンハワード. 『ビューティフル・マインド』, 9 2012.
- [295] エドワードフレンケル. 『数学の大統一に挑む』. 文藝春秋, 7 2015.
- [296] ダンブラウン. 『ダ・ヴィンチ・コード (1 枚組) [dvd]』, 12 2015.
- [297] ダンブラウン, 敏弥越前. 『ダ・ヴィンチ・コード 上・中・下巻 3 冊セット』. 角川書店, 3 2006.
- [298] ロブ モロー (主演). 『ナンバーズ 天才数学者の事件ファイル シーズン 1 コンプリート dvd-box (4 枚組)』, 6 2009.
- [299] 数理科学編集部. 『数学の道しるべ-研究者の道とは何か』. サイエンス社, 5 2011.
- [300] Paul Busch(著), Pekka Lahti, Juha-PekkaPellonpää, Kari Ylinen. *Quantum Measurement*. Springer, 8 2016.

索引

functional calculus, → 作用素解析

p 値, 1934

I -不変, 8609

アインシュタイン計量, 8422

アインシュタイン多様体, 8422

アインシュタインの縮約, 5432

亜群, 2537

値, 2230

アダマールの不等式, 5411, 6749

アトム, 5622

アトラス, 8018

極大-, 8019

アフィン空間, 5523, 8021

アフィン写像, 8041

アフィン変換, 8042

アフィン変換群, 8042

粗い, → 位相が弱い

関係が-, 2201

アルキメデスの付値, 4284

アルティン環, 7780

ある点の近傍で正則, 4699

アーベル群, → 可換群

アーベル微分, 8794

アーンショーの定理, 5307

イェンゼンの不等式, 3590

移行原理, 6248

位数, 2539, 4698, 7671

位相, 2736

密着-, 2740

離散-, 2740

位相が強い, 2740

位相が弱い, 2740

位相空間, 2736

位相構造, 8019

位相線型空間, → 線型位相空間

位相多様体, 5455, 8018

位相同型, → 同相

位相の, → 基底

位相ベクトル空間, → 線型位相空間

イソトピー, 8042

一意分解整域, 7752

一径数局所群, 8134

一径数部分群, 8209

一径数変換群, 8129

一径数ユニタリ群, 4974

一次独立, → 線型独立

1 の分解, → スペクトル族, 単位の分解

1 の分割, → 単位の分割

一様可積分, 5965

一様収束位相, 2851

一様凸性, 3637

一様分布, 1879, 5949

一様有界, 5098

一様有界性の原理, 4294

一様連続, 3165

一致の定理, 4740

一点コンパクト化, 3188, 3235

一般解, 5087

一般化されたヘルダーの不等式, 3613

一般線型群, 4458, 5588, 8213

一般線型リ一環, 7452

一般二項係数, 3641

一般二項定理, 3642

一般二項展開, → 一般二項定理

- 一般分配関数, 1904
 イデアル, 2547, 7691
 伊藤-シーガル-ウィーナー分解, 6197
 伊藤積分, → 確率積分
 陰関数, 5386
 因子, 8865
 関数の-, 8866
 因子群, 8865
 ウィック積, 6159, 6168
 ウィック多項式, 6160, 6166
 ウィーナー過程, → ブラウン運動
 ウィーナー測度, 5831
 ウェイト, 7512, 8903
 ウェイトの基本系, 7520
 ウェイトの系列, 7516
 ウェッジ積, 5478
 上正則化, 7926
 上に有界, 2593, 4935
 動く特異点, 5116
 宇宙, 6233, 6236
 埋め込み, 2234, 2771
 位相空間の-, 8096
 微分多様体の-, 8097
 ウリゾーンの距離づけ定理, 3339
 上向き横断回数, 6087
 運動, 8145, 9788
 運動エネルギー, 5256
 運動群, 8145
 SNAG 定理, 4982
 $S(\mathbb{R}^d)$ の L^p 稠密性定理, 4076
 エタール空間, 7954, 7968
 n ステップ遷移確率, 6119
 n -粒子空間, 4600
 エネルギー
 曲線の-, 8482
 写像の-, 8529
 エピ, 8000
 エルゴード性, 6128
 エルミート, 4328
 エルミート共役, 4465
 エルミート行列, 4468
 エルミート計量, 8191, 8385
 エルミート作用素, 4415
 エルミート多項式, 4362
 エルミート多様体, 8191
 エルミートベクトル束, 8386
 $L^1_{\text{loc}}(\Omega)$ の超関数への埋め込み定理, 4141
 演算, 6240
 円周率, 4128, 4760
 エンタングルメント・ビット, 6772
 エントロピー, 1909
 遠標準点, 6299
 オイラー記述, 9759
 オイラー形式, 8588
 オイラー座標, 9763
 オイラーの公式, 4124, 4756
 オイラー表現, 9763
 オイラー標数, 8480
 オイラー類, 8588
 横断的に交わる, 8335
 応力, 9792
 押し出し, 2276, 5503, 8080, 8263
 同じホモトピー型, 8245
 音楽同型, 8404, 9056
 解, 5087
 因子の-, 8920
 ミッタク-レフラー分布の-, 8905
 階位関数, 9237
 開埋め込み, 2805
 開核, 2794
 回帰的, 4282
 開球, 2632, 2842, 3237
 開近傍, 2633, 2737, 2794
 開近傍の基本系, 2802, 3331
 解空間, 5139
 開区間, 2596
 開写像, 2805
 開集合, 2633, 2737
 階数, 3953, 6234, 6236
 たようたいかんのしゃぞうの-
 多様体間の写像の-, 8083
 半単純リー環の-, 7478
 解析接続, 8762, 9208
 -が極大, 8762
 道に沿った-, 8759
 解析接続の原理, 7961
 解析多様体, 8019
 解析的, 4689, 9071
 解析的円板族, 9128
 回転, 5434, 5435, 6994
 回転数, 4660, 4725
 解の延長, 5088
 解の基本系, 8824
 解の正則性, 5305
 開被覆, 2803
 開部分空間, 2744

- 開部分多様体, 8024
 開リーマン面, 8020
 下界, 2593
 可解, 9193
 可換, 5020
 可換環, 2543
 可換群, 2539
 可換り一環, 7453
 過学習, 7352
 下極限, 3281, 3482
 可逆, 2277, 7750
 核, 4300, 7989
 線型作用素の-, 4390
 角運動量, 6975
 拡散率, 7023
 拡大環, 7788
 拡大実数, 2597
 拡大体, 7718
 確定特異点, 8829
 各点収束, 2889
 確率過程, 1925, 6065, 6176
 確率行列, 1924, 6112
 確率空間, 3462
 確率収束, 5628, 5958, 6027
 確率積分, 5916
 確率測度, 3462
 確率超過程, 6186
 確率変数, 3508, 5939
 確率ベクトル, 1924, 5939, 6112
 確率密度関数, 1857
 確率モデル, 1907
 確率連続, 6149
 加群, 2550, 3238, 7726
 射影-, 7741
 かけ算作用素, 4425
 下限, 2593
 加工硬化, 9781
 可算集合, 1261, 2466
 可縮, 8246
 仮説検定, 1933, 7310
 可測, 3804
 可測関数, 3492, 3501, 6313
 可測空間, 3436
 可測集合, 6313
 数え上げ作用素, 7640
 数え上げ測度, 3466
 形作用素, 8430
 括弧積, → 交換子積
 仮定, 2116
 かなめ, 3952
 下半連続, 3069, 3992
 可分, 3332
 加法過程, 6147
 加法群, → 可換群
 加法族, 3436
 加法的, 3460
 加法的集合関数, → 複素数値測度
 加法的に保型, 8809
 可約, 7807
 可約表現, 7510
 可予測過程, 6069
 カルキン環, 4501
 カルタン行列, 7506
 カルタン行列の同型, 7507
 カルタン数, 7516
 カルタン整数, 7494
 カルタン部分環, 7477
 カルバック-ライブラ情報量, 7282, 7360
 関係, 6239
 還元, 8571
 関数, 2236
 原始, 4675
 指数-, 4111
 シュワルツの超-, 1186
 凸-, 5596
 関数環, 4532
 関数行列式, 8035
 関数体, 7832
 関数の全変動, 4948
 関数の台, 2544
 完全, 7737, 8000
 完全加法族, 3436
 完全形式, 5509, 8797
 完全正規直交系, 4343
 完全積分可能, 8222
 完全代表系, 2374
 完全不連結, 3018
 完全べき等, 7751
 完全ラインハルト領域, 9067
 完備, 3285, 3395, 8455
 n -ベクトル場, 8131
 完備化, 3296
 完備化ヒルベルト空間, 4354
 完備性
 前層の, 7973
 測度空間の-, 3822

- 芽, 7967
- 外延的記法, 2158
- 開核, → 内部
- 概収束, 5628, 5958
- 外積, 4590
- 外積代数, 5476
- 外測度, 3800
- 外的な元, 6252
- 外転, 2794
- 外微分, 8067
- 外微分作用素, 5506
- 概複素構造, 7622, 8187, 8201, 8597, 8607
- 概複素多様体, 8187, 8201, 8607
- 外部, 2794
- 外部正則, 3465
- 外部積, 6773
- 外法線ベクトル, 5554, 5555, 6979
- 外力, 5083
- ガウシアン, → 熱核
- ガウス過程, 1937
- ガウス型確率過程, 6190
- ガウス型確率変数, 5953
- ガウス型確率ベクトル, 6155
- ガウス曲率, 8436
- ガウス整数, → 複素整数
- ガウス超過程, 6190
- ガウスの方程式, 8433
- ガウス分布, 5953
- ガウス-ボネの定理, 8475
- 合併, → 和集合
- ガトー微分, → 方向微分, 3996, 5353
- ガロア被覆, 8320, 8773
- 含意, 2114
- ガンマ関数, 6945
- 幾何環, 7816
- 幾何学的多重度, 6385
- 規格化, 4329
- 棄却, 7310
- 奇置換, 4582
- 基底, 9225
 - 開集合の-, 2802, 3331, 8163
- 基底エネルギー, 4848, 5256
- 基底関数, 1936
- 基底状態, 5256
- 軌道, 8129
- 帰納的, 2508
- 基本ウェイト, 7520
- 基本解, 7029
- 基本既約表現, 7521
- 基本近傍系, 2802, 3331
- 基本群, 8256
- 基本形式, 7631
- 基本対称関数, 8767
- 基本ベクトル場, 8217
- 基本列, → コーシー列
- 基本論理式, 6236
- 帰無仮説, 1933
- 既約, 6128, 7807
- 既約元, 7695, 7752
- 既約成分, 7811
- 既約表現, 7510
- 既約分解
 - 代数多様体の-, 7811
- 急減少関数の空間, 4073
- 求心加速度, 6975
- 強圧性, 4846
- 強圧的, 4910
- 強位相, 4302
- 境界, 2794, 5542
- 境界条件, 5086, 5133, 6123
- 境界値問題, 5086
- 境界つき多様体, 5542
- 強可換, 5021
- 狭義正值, 5860
- 狭義対称減少, 6340
- 共形的に同値, 7630
- 強作用素位相, 4457
- 強三角不等式, 4284
- 共終, 6278
- 強収束, 3992, 4302, 4457, 5628
- 強多重劣調関数, 9116
- 共通部分, 1249, 2149, 2313
- 共変外微分, 8366
- 共変微分, 8362
- 共変余微分作用素, 8511
- 強マルコフ性, 6120
- 共鳴現象, 6620
- 共役元, 8177
- 共役子, 6204
- 共役指数, 3611
- 共役事前分布, 7373
- 共役な行列, 4465
- 共役レフシェッツ作用素, 7637
- 強連続一径数半群, 5807
- 極, 4698, 8731, 8792, 9015, 9190
- 極限, 2599, 2638, 2658

- 極座標, 6451
- 極小, 5371
- 極小埋め込み, 8540
- 極小曲面, 8436
- 極小元, 2508
- 極小はめ込み, 8540
- 極小部分多様体, 8540
- 局所化, 7827
- 局所解, 5088
- 局所可積分関数, 4025
- 局所環, 7773
- 局所径数, 5536
- 局所弧状連結, 3020, 8270
- 局所コンパクト, 3188, 3235, 8163
- 局所コンパクト可換群, 4067
- 局所座標, 5455, 5536, 8018
- 局所座標系, 5455, 5536, 8018
- 局所座標に対するヤコビアン, 5549
- 局所自明化, 8341
- 局所正則自明化, 8600
- 局所双正則, 9206
- 局所単連結, 8298
- 局所定数関数, 2766
- 局所凸, 4219
- 局所同相, → 局所同相写像
- 局所半単連結, 8303
- 局所標構, 8060
- 局所変換, 8134
- 局所有限, 3465, 5201, 7982, 8157
- 局所リプシッツ連続, 3957
- 局所劣調和, 8949
- 局所連結, 3020, 8270
- 曲線, 2763, 4650, 5532, 8240
 - 微分可能な-, 8043
- 曲線座標系, 8021
- 曲線の曲率, 6964
- 曲線の長さ, 4657, 8393
- 極大, 5371
- 極大元, 2508
- 極大単調作用素, 4441
- 極大フィルター, 3140
- 極値, 5371
- 極値点, 5371
- 極分解, 4499
- 曲面, 5532
- 曲率, 8367
 - 主束の-, 8561
- 虚数単位, 2533
- 虚部, 2533, 3902, 6205
- 距離, → 距離関数, 2841
- 距離関数, 2631
- 距離空間, 2842
- 距離づけ可能, 3337
- 距離の公理, 2842
- キリング形式, 7471
- キリングの微分方程式, 8150
- キリングベクトル場, 8150, 8521
- 近似単位元, 4027
- 近似点スペクトル, 4824
- 近標準点, 6299
- 近傍, 2633, 2737, 2794
- 緊密, 6029
- 擬凸
 - C -, 9132
- 擬凸集合, 9130
 - L -, 9126
 - O -, 9128
 - D -, 9126
 - P -, 9127
- 逆, 2116
- 逆温度, 1907
- 逆格子ベクトル, 6735
- 逆写像, 1260, 2277
- 逆写像定理
 - 正則関数の-, 7891
- 逆像, 1260, 2346
- 逆向きの曲線, 4651
- 共役線型作用素, → 反線型作用素
- 行列, 4464
 - 正方-, 453
 - 単位-, 453
- 行列環, 2545, 3888
- 行列式, 3945
- 行列の基本変形, 3951
- 行列の成分, 4464
- 行列の掃き出し, 3952
- 行列の左基本変形, 3951
- 行列の標準形, 3952
- 行列の右基本変形, 3951
- 行列表示, 4467
- 擬リーマン多様体, → 準リーマン多様体
- 空間, 2596
 - 試験関数の-, 1185
 - ノルム-, 2850, 3239
- 空間座標, 9788
- 空間的, 7614

- 空集合, 1246, 2149, 9294
 区間塊, 3831
 茎, 7838
 クザン第一分布, 9191
 クザン第一分布の解, 9191
 クザン第二分布, 9193
 クザン第二分布の解, 9194
 区分行列, → ブロック行列
 区分的に滑らかな曲線, 8043
 区分的に連続, 4653
 区分的に連続微分可能, 4654
 クリストッフエル記号, 8399
 クリフォード束, 8653
 クリフォード代数, 8653
 クレイン-ミルマンの端点定理, 4528
 クロス積, → ベクトル積
 クロネッカーの近似定理, 8101
 クロネッカーのデルタ, 2202
 クーロンエネルギー, 6401
 クーロンゲージ, 5886
 クーロンポテンシャル, 6400
 偶置換, 4582
 グラディエント, → 勾配
 グラフ, 2201, 2230, 2265, 4300, 4390
 グラム-シュミットの直交化, 4345
 グラム行列, 6753
 グリーソンの定理, 3201
 グリーン関数, 5144, 7031
 グリーン作用素, → レゾルベント, 7596
 グリーンの公式, 8504
 グロウンウォールの不等式, 5106
 グロウンウォールの補題, 5105
 群, 2539, 7671
 可換-, 7671
 有限-, 7671
 系, 2119
 茎
 前層の-, 7967
 層の-, 7954
 経験エントロピー, 1909
 経験誤差関数, 1905
 経験損失, 1905, 1910
 経験対数損失関数, 1902
 形式
 曲率 2-, 8060
 接続-, 8060
 形式化, 2147
 形式的共役, 8719
 形式的逆写像, 1260, 2346
 係数環, 2550, 3238
 係数体, 2550, 3238
 径数多様体, 5535
 径数つき多様体, 5532
 結合分布, → 同時分布, 1858, 5940
 結合分布関数, 5950
 結論, 2116
 ケーラー-アインシュタイン計量, 8644
 ケーラー-アインシュタイン多様体, 8644
 ケーラー・アインシュタイン多様体, 8422
 ケーラー形式, 8621
 ケーラー計量, 8193, 8621
 ケーラー多様体, 8193, 8621
 ケーラーポテンシャル, 8639
 ケーリー変換, 4968, 4970, 8472
 (集合の) 元, 1244
 元, → 要素
 現座標, 9788
 原始関数, 8804
 原始的, 7644, 7705
 原始ベクトル, 7526
 現状態, 9788
 限定論理式, 6237
 ゲージ, 5885
 ゲージ変換, 8387
 ゲージ変換群, 8370, 8387
 光円錐, 7614
 交換子, 5020, 8117, 8118
 交換子積, 7452
 広義一様収束, 4736
 広義正值, 5860
 広義リーマン可積分, 3923
 降鎖律, 7780
 格子, 8029, 8931
 構造群, 8550
 交代化作用素, → 反対称化作用素
 交代群, 7680
 広大化定理, 6272
 恒等写像, 2234
 勾配, 3958, 5434, 6993, 9754
 勾配ベクトル場, 8502
 勾配流, 9057
 コサイクル, → 余輪体, 7995, 9185, 9188
 コサイクル条件, → 余輪体条件, 7995, 8343
 弧状連結, 3000, 3228, 3391, 8251
 弧状連結成分, 3020
 小平-中野の消滅定理, 8641

- コダッチの方程式, 8433
 コチェイン, → 余鎖, 7994, 9185, 9188
 コチェイン群, 7994
 固定部分群, 8218
 古典型半単純リー環, 7477
 古典的極限, 5880
 古典的限界, 5880
 古典的分配関数, 5880
 コバウンダリ, → 余境界, 7995, 9000, 9185, 9188
 コバウンダリ作用素, 7994
 コホモロジー群, 7995, 9001
 コホモログ, 7995
 細かい, → 位相が強い
 関係が-, 2201
 固有関数, → 固有ベクトル
 固有空間, 4824
 固有写像, 8314
 固有多項式, 5592
 固有値, 4823
 固有値の縮退, 4824
 固有ベクトル, 4823
 コリオリの加速度, 6602
 孤立点, 2741
 孤立特異点, 4693
 コルモゴロフの σ -加法族, 3700
 コルモゴロフの 0-1 法則, 5999
 コルート, 7488
 コルート系, 7488
 コルートの基本系, 7505
 根基, 7772
 根源事象, → 標本
 コンパクト, 3061
 コンパクト化, 3188, 3235
 コンパクト開位相, 4767
 コンパクト空間, 3061
 コンパクト作用素, 4501, 4994
 コンパクト台の連続関数環, 3989
 コーシー応力, 9788
 コーシー-シュワルツの不等式, 3617, 4330
 コーシーの積分表示式, 4734, 7939
 コーシーの評価式, → コーシーの不等式
 コーシーの不等式, 4691
 コーシー分布, 5950
 コーシー-リーマンの方程式, 9072
 合成写像, 2274
 合成積, → たたみ込み
 合同関係, 2203
 ゴルディングの不等式, 8675
 ゴールデン-トンプソン不等式, 5881
 再帰的, 6141
 サイクル, 4656, 8923
 最高ウェイト, 7518
 最小化元, 5252
 最小元, 2509
 最大延長解, 5088
 最大元, 2508
 最頻値, 7299
 細分, 5202, 7982, 8157
 最尤推定法, → 最尤法
 最尤法, 1884, 7368
 差集合, 2156
 差積, 4583
 鎖則, 5341
 差分作用素, 6122
 作用
 効果的な-, 8218
 自由な-, 8218
 作用素
 可閉-, 4393
 共役-, 4395
 コンパクト-, 4408
 閉-, 4390
 作用素解析, 4886, 4891, 4922, 4955
 作用素多項式, 4877
 作用素の拡大, 4089, 4386
 作用素の拡張, → 作用素の拡大
 作用素の制限, 4387
 作用素のテンソル積, 4608
 作用素のユニタリ同値, 4840
 作用素ノルム, 3634, 3861, 4233
 三角関数の加法定理, 4125, 4757
 三角多項式, 4940
 三角不等式, 2842, 2850, 3239
 参照状態, 9788
 サンプル, 1906, 7285
 サードの定理, 8089
 座標環, 7816
 座標関数, 5364
 座標基底, → ホロノミック基底
 座標近傍, 5455, 5536, 8018
 ベクトル束の-, 8056, 8341
 座標近傍系, 5456, 8018
 座標変換, 5456, 8018
 ザリスキ位相, 7809, 7813
 σ -加法族, 3436

- σ -コンパクト, 3332, 8163
- σ -有限, 3462
- シグモイド関数, 1490
- 試験関数の空間, 4137
- 四元数, 7533
- 指数, 9052
 - 行列の-, 8071
 - 正則臨界点の-, 8073
- 指数関数, 4066, 4117, 4749
- 指数型分布族, 7373
- 指数写像, 8131, 8448
- 指数分布, 5949
- 沈め込み, 8097
- 自然基底, → 標準基底
- 自然数, 2113
- 自然対数の底, 4122, 4754
- 自然直線束, 8606
- 自然な情報系, 6067
- 下に有界, 2593, 4848, 4934
- 始点, 8240
- 支配的な形式, 7519
- 指標, 4067
- 射影, 2237, 4335, 7954
 - ベクトル束の-, 8056, 8341
- 射影空間, 2912
 - 複素-, 8195
- 射影系, 5699
- 射影作用素, 4469
- 射影変換, 8042
- 射影変換群, 8042
- 斜交リー環, → シンプレクティックリー環
- 写像, 1258, 2230, 2265
 - 微分可能な-, 8040
- 写像の拡張, 2235
- 写像の制限, 2235
- 写像の直積, 2238, 2318, 2321
- 写像の分解, 2274
- シャッテンクラス, 5018
- シャッテン形式, 4995
- シャッテンノルム, 5018
- 主因子, 8867
- 終域, 1258, 2230
- 終位相, 7963
- 周期
 - 微分形式の-, 8808
- 周期格子, 8933
- 周期準同型, 8808
- 終空間, 4497
- 終結式, 6750
- 集合, 1244
- 集合族, 1264, 2312
- 終射影, 4497
- 集積
 - 集合族の-, 3135
- 集積する, 3133
- 集積点, 3252
- 収束, 2599, 2638, 2854
 - 距離空間での-, 2967
 - 集合族の-, 3135
 - 超関数列の-, 1186
 - $\mathcal{D}(\Omega)$ での-, 1185
 - ネットの-, 3133
- 収束域, 4762
- 収束円, 4114, 4745
- 収束半径, 4114
- 収束半径半径, 4745
- 終点, 8240
- 周辺確率, 1840
- 周辺分布, 1881
- 周辺尤度, 1908
- 主応力, 9777
- 縮小, 8571
- 縮小作用素, 4802
- 縮小写像, 3357
- 縮小写像の原理, 3358
- 縮退度, 4824
- 縮約, 8354
- 種数, 8856, 9034
- 主束, 8550
- 主定理, 2119
- 主表象, 8710
- 主法線, 6964
- 主要部, 4697
- シュレディンガー作用素, 5819
- シュレディンガー半群, 5819
- Schwartz 空間, → 急減少関数の空間
- シュワルツ空間, → 急減少関数の空間
- シュワルツの公式, 7917
- シュワルツの超関数, 4138
- シュワルツの提灯, 6979
- 商位相, 2909
- 障害, 8953
- 小行列式, 5391
- 商空間, 2909
- 昇鎖律, 7779
- 商写像, 2372

- 商集合, 1255, 2372
 商束, 8349
 商ノルム, 4243
 商バナッハ空間, 4243
 消滅作用素, 4603
 初期空間, 4497
 初期射影, 4497
 初期条件, 5086
 初期値, 5805
 初期値問題, 5086, 5805
 初期分布, 6114
 触点, 2794
 シルベスタ行列式, 6750
 シルベスタの慣性法則, 8071
 芯, 4393
 真空, 4600
 シングルトン, 9296
 真性スペクトル, 4859
 真性特異点, 4698, 8792
 真の分布, 1907
 真の分布に対して最適なパラメータの集合,
 1903
 真部分集合, 2111
 シンプレクティックリー環, 7464
 信頼区間, 7312
 C^r -級同値, 5535
 C^r -級微分同相, 5535
 C^∞ -級写像, 8040
 C^r -級関数, 8032
 $C_c(\Omega)$ の L^p 稠密性定理, 3965
 C^* -環, 3887
 シートの数, 8284
 C. ノイマンの定理, 4803
 時間依存のないシュレディンガー方程式,
 5254
 時間的, 7614
 時間並進対称性, 5855
 次元, 4246
 次元解析, 5246
 自己共役元, 3887
 自己共役作用素, 4415, 4468
 自己共役な汎関数, 3902
 自己共役半群, 5807
 自己同型, 8119
 事後分布, 1908
 事象, 5936
 次章, 3508
 じすう次数, 8867
 事前分布, 1907
 実数, 2113, 2588
 実数値測度, 3725
 じっすうち測度の正の部分, 3730
 実数値測度の正変動, → 実数値測度の正の
 部分
 実数値測度の絶対値, 3730
 実数値測度の全変動, → 実数値測度の全変動
 実数値測度の負の部分, 3730
 実数値測度の負変動, → 実数値測度の負の
 部分
 実
 微分形式が-, 8909
 実解析多様体, 5458
 実カルタン部分環, 7497
 実四元数, 7538
 実射影空間, 8022
 実性保存作用素, 5860
 実表現領域, 9067
 実部, 2533, 3902, 6205
 微分 1-形式の-, 8909
 自明束, 8348
 自明な表現, 7510
 弱位相, 2889, 4302
 弱 L^p 空間, 6397
 弱解, 8683
 因子の-, 8920
 弱可測, 4569
 弱コンパクト, 4306
 弱作用素位相, 4457
 弱収束, 3992, 4302, 4457, 5628, 6020
 弱*収束, → 汎弱収束
 弱零点定理, 7798
 弱点列コンパクト, 4309
 弱微分, 4142
 従法線, 6964
 充滿, 6185
 述語, 1229, 2120
 巡回加群, 7732
 巡回行列式, 6741
 準基, 2822
 純虚四元数, 7538
 準コンパクト, 3061
 順序, 1254, 2203
 順序関係, 1254
 順序群, 7861
 順序写像, 1255, 2221
 順序対, 2161

- 順序閉集合, 2509
 純粋に非有界, 4384
 準素イデアル, 7844
 準双線型形式, 4328, 4355
 準双線型形式のノルム, 4356
 準素分解, 7847
 準同型, 7466
 準同型写像, 7726, 8208
 層の-, 7977
 リー群の-, 8209
 準リーマン計量, 8051
 準リーマン多様体, 8051
 自由エネルギー, 1904, 1909
 自由加群, 7731
 自由ハミルトニアン, 5254, 5819
 自由変項, 6237
 自由変数, 1229, 2120
 自由ホモトピック, 8296
 自由ホモトピー類, 8489
 上界, 2508, 2593
 上極限, 3281, 3482
 条件, 1231, 2120
 強い-, 2146
 弱い-, 2146
 条件つき確率, 5993
 条件付き確率, 1842
 条件つき期待値, 5993
 上限, 2593
 上限ノルム, 2851
 状態, 1924, 6112
 状態空間, 1924, 6112
 上半空間, 5542, 8472
 上半連続, 3069, 7923
 常微分方程式, 5082
 上部構造, → 宇宙
 情報系, 6066, 6098
 乗法的に保型, 9027
 乗法的付値, 4284
 剰余項, 5367
 剰余スペクトル, 4824
 剰余体, 7704
 除外近傍, 4647, 4693
 除去可能特異点, 4698, 8792
 ジョルダン曲線, → 単純曲線
 ジョルダン標準形, 5595
 ジョルダン分解, 4890
 ジングの定理, 8489
 G -加群, 9000

 G -局所自明化, 9002
 G -擬凸, 9234
 G -擬凸開集合, 9156
 垂直部分空間, 8557
 推定量, 1947
 水平曲線, 8573
 水平部分空間, 8557
 水平持ち上げ, 8561, 8567
 酔歩, → ランダムウォーク
 数域, 4848
 数体, 7792
 スカラー, 2550, 3238
 スカラー曲率, 8421
 スカラー三重積, 6730
 スカラー場, 5433, 6993
 スカラーポテンシャル, 6978
 スタイン多様体, 8196, 9232
 スター記法, 2354
 *-準同型, 4465
 *-同型, 4466
 *-有限和, 6264
 スターリングの公式, 7280
 スツルム-リウビル作用素, 5135
 スツルム-リウビルの境界値問題, 5133
 スティルチェス積分, 4949
 ストーンの公式, 5022
 ストーンの定理, 4980
 スペクトル, 4823, 7764
 スペクトル写像定理, 4887, 4960
 スペクトル積分, 4922, 4951, 4987, 4989
 スペクトル測度, 4918, 5056
 スペクトル測度の台, 4919, 5057
 スペクトル族, 4934
 スペクトル族の台, 4935
 スペクトル半径, 4880
 スペクトル分解, 4931
 スペクトル理論, 4791
 スライス, 8106
 スレーター行列式, 8508
 随伴素イデアル, 7839
 随伴表現, 7466, 7470, 8216
 (正則直線束が) 正, 8641
 整, 7789
 整域, 7685, 7750
 星雲, 6260
 整関数, 4737
 正規, 7792
 正規化, 7792

- 正規化群, 7675
 正規化された自由エネルギー, 1904
 正規化された分配関数, 1904
 正規型確率変数, 5953
 正規型常微分方程式, 5084
 正規空間, 2975, 3223
 正規作用素, 4468
 正規座標, 8450
 正規収束, → 広義一様収束
 正規族, 7898
 正規直交系, 4343
 正規被覆, → ガロア被覆
 正規付値, 4285
 正規部分群, 7675
 正規分布, 1880, 5949, 5953
 整級数, → ベキ級数
 星形, 4682
 正型関数, 6042
 整形式, 7516
 正型汎関数, 6176
 正弦関数, 4125, 4757
 制限写像, 2239
 前層の-, 7965
 制限ホロノミー群, 8570
 整合的, 3709, 7630
 正作用素, 4415, 4469
 斉次座標, 2912
 斉次座標系, 8022
 斉次方程式, 5138
 整従属関係式, 7788
 正準交換関係, 4424
 正常値, 8069, 8087
 正常点, 8069, 8087
 せいすい正錐, 2221
 整数, 2113, 2529
 整数環, 7792
 生成系, 3438, 4245
 生成元, 4561, 7731
 生成作用素, 4605, 4975, 8130
 一径数局所群の-, 8135
 生成される位相, 2822
 生成される加法族, 3438
 生成子, → 生成作用素
 正則, 4649, 8184, 8952, 9073
 各変数ごとに-, 7939
 正則開集合, 9101
 正則拡大, 9098, 9208
 正則化列, 4027
 正則関数, 8183, 8186, 8728
 正則関数族に対する正則包, 9208
 正則化列, 3968
 正則型, 8200
 正則座標近傍, 8183
 正則座標近傍系, 8183
 正則写像, 7941, 8183, 8186, 8729
 非自明な-, 8729
 正則接束, 8596
 正則切断, 8602
 正則凸, 9103, 9223
 正則凸包, 9102, 9216
 正則同型, 7904, 8729
 正則な行列, 3949
 正則な作用素, 4458
 正則な測度, 3465
 正則な部分多様体, 8098
 正則濃度, 6279
 正則被覆, → ガロア被覆
 正則変換, 8147
 正則ベクトル束, 8599
 正則包, 9101
 正則余接束, 8597, 9011
 正則領域, 9101, 9209, 9214
 正則臨界点, 8070
 正則稜場, 8600
 正值, 4328, 5860
 正值性改良作用素, 5860
 正值性保存作用素, 5860
 正值超関数, 4167
 正值汎関数, 3902
 正定値, 4328
 正定値性
 連続拡張した-, 6047
 成分, 3943
 ベクトル場の-, 8111
 整閉, 7792
 整閉包, 7792
 正方向行列, 3943
 整列集合, 2509
 積
 集合の-, 1251
 跡, 5532
 積位相, 2879, 2886
 積空間, 2880, 2886
 積集合, 1265
 積測度, 3684
 積多様体, 8025

- 積分核, 5038, 5148
- 積分可能, 8608
- 積分曲線, 8127
- 積分に対する平均値の定理, 3572, 3574
- 積閉集合, 7697
- 接線応力, 9775
- 接線方向, 7602
- 接空間, 5499, 5523, 5544, 8044
- 接束, 8058, 8347
- 接続, 8060, 8359, 8362
 - 主束上の-, 8556
- 接続形式, 8363, 8399, 8557
- 接続係数, 8399
- 切断, 2913, 7956, 8341, 9010
 - 大域-, 7957
- 切断がなす前層, 7966
- 接ベクトル, 5544, 5567, 8044, 8049
 - の成分, 8048
 - 曲線の-, 8049
- セミノルム, 4267
- セル分割, 8328
- 遷移核, 1926
- 遷移行列, 1925, 6114
- 線型
 - 包, 4347
- 線型位相, 4219
- 線型回帰モデル, 1937
- 線型空間, 2550, 3238
- 線型空間の基底, 4244
- 線型空間の向き, 5485
- 線型作用素, 3860, 4232
- 線型写像, → 線型作用素, 3860, 4232
- 線型従属, 4344
- 線型独立, 4244, 4344, 7709
- 線型汎関数, 3860, 4233
- 線型リー群, 8213
- 線積分, 4657, 6978
- 線束, 9008
- 選択公理, 2319
- 絶対収束, 4113, 4745
- 絶対値, 4495
- 絶対連続, 3736, 3760
- 絶対連続型, 5948
- 絶対連続スベクトル, 4860
- 絶対連続部分空間, 4860
- 零因子, 7750
- 零行列, 3943
- 零集合, 3462, 8088
- 零切断, 7957
- 全エネルギー, 5256
- 全確率の公式, 1843
- 全空間, 8056, 8341
- 全射, 1259, 2407
- 全称命題, 1233, 2121
- 全称量子化子, 1235, 2117
- 前正錐, 2220
- 前層, 7965
- 全体集合, 2146
- 全単射, 2277, 2407
- 全チャーン類, 8582
- 全微分可能性, 5336
- 全フォック空間, 4600
- 全分岐次数, 8888
- 全変動ノルム, 3885, 6131
- 全有界, 3290, 6029
- く関数, 9579
- 層, 7954
- 双曲空間, 8468
- 双曲計量, 8468
- 双曲的非ユークリッド空間, 8052
- 相空間限界, 5880
- 双正則, 8187, 8729
- 双正則写像, 7941, 8186
- 双線型形式, 4327
- 相対位相, 2743
- 相対限界, 5792
- 相対コンパクト, 3188, 3235, 4041, 6029
- 相対的に有界, 5792
- 双対基底, 5471
- 双対空間, 3634, 4233
- 双対群, 4067
- 双対計量, 8404
- 双対性内積, 4231
- 双対接続, 8376
- 双対微分, 8083
- 双対ベクトル束, 8351
- 双対空間, 3860
- 相対的に有限な分散を持つ, 1903
- 相等関係, 2202
- 層の準同型, 7988
- 添字集合, 2311
- 疎行列, 5669
- 束写像, 8060
- 測地線, 8446
- 測地的完備, 8455
- 測度, 3461

- 測度空間, 3461
 測度空間の完備化, 5618
 測度収束, 5628
 測度のジョルダン分解, 3732, 3759
 測度の同値, 3736, 3760
 測度のハーン分解, 3734
 束縛変項, 6237
 束縛変数, 2121
 素元, 7695, 7752
 疎集合, 3361
 ソボレフ-ガリヤルド-ニーレンバークの不等式, 5213
 ソボレフ空間, 4146, 9158
 ソボレフの表示公式, 5226
 ソルゲンフライ直線, 3445
 存在域, 5088
 存在命題, 1234, 2121
 存在量量子, 1235, 2117
 像, 2230
 像位相, 2744, 2916
 増加過程, 6070
 増加情報系, → 情報系
 像加法族, 3504
 像測度, 1858
 増分, 6147
 属する, 2109
 体, 2548
 大域解, 5088
 大域的に生成, 8891
 対角写像, 2234, 2321
 対角集合, 2202, 2234
 対偶, 2117
 滞在時間, 5990, 6137
 対称核, 5148
 対称化作用素, 4590
 対称群, 3947
 対称減少再配分, 6339
 対称差, 2210
 対称再配分, 6338
 対称作用素, 4415
 対称性
 接続の-, 7169, 8402
 対称テンソル積, 4590
 対蹠的, 7541
 対数凸なラインハルト領域, 9067
 大数の強法則, 6004
 大数の弱法則, 6004
 対数微分, 8921
 対数尤度関数, 1884
 体積, 5560
 リーマン多様体の-, 8398
 体積形式, 5560, 7579
 体積積分, 6980
 体積要素, 5486, 8398
 対等, 2485
 対立仮説, 1933
 高々可算, 1261, 2466
 互いに素, 2149, 2316
 集合が-, 1249
 多項式環, 4035
 多項式関数, 7715
 多重円板, 9066
 多重指数, 4032, 4073
 多重度, → 縮退度, 8272, 8736
 多重劣調和関数, 9115
 たたみ込み, 3964, 4017
 多様体, 5536
 微分-, 8019
 多様体の向き, 5547
 単位行列, 3943
 単一連結, 4663
 単位的環, 2543, 3887, 7749
 単位の分解, 4934
 単位の分割, 8159
 単位の分割に従属する開被覆, 5184
 単位ベクトル, 4329
 単位法ベクトル, 5551
 単関数, 3526, 6313
 短完全系列, 8000
 短完全列, 7737
 単元, 7750
 単射, 1259, 2407
 単純曲線, 4651, 7007
 単純群, 7675
 単純固有値, 4824
 単純収束, 2889
 単純閉曲線の向き, 4652
 単純ランダムウォーク, 6144
 単純リー環, 7474
 単純ルート, 7502
 単調減少, 3473
 単調減少な実数値測度, 3727
 単調作用素, 4440
 単調増加な実数値測度, 3727
 単調増加列, 3473
 単調な測度, 3727

- 端点, 4523
 単独方程式, 5083
 単葉, 7901, 9207
 単連結, 8287
 台, 3408, 7836
 因子の-, 8921
 可測関数の-, 4022
 微分形式の-, 8812
 第一可算, 3332
 第一基本形式, 8429
 第一類, 4296
 第一種ゲージ変換, 5885
 代数, 2554, 7788, 8113
 代数-幾何対応, 4288
 代数関数, 8776
 代数学の基本定理, 4738
 代数-幾何対応, 3990
 代数的, 7719
 代数的多重度, 6385
 代数的テンソル積, 4561, 4606
 代数的に独立, 7794
 第二可算, 3332
 だいにかささんこうり第二可算公理, 8163
 第二基本形式, 8429, 8535
 第二種ゲージ変換, 5885
 第二双対空間, 4282
 第二類, 4296
 ダイバージェンス, → 発散
 大偏差原理, 1791
 第 λ 成分, 2316
 楕円型, 8710
 楕円型正則性, 5311
 ダフィン方程式, 6638
 ダランベールの微分方程式, 5122
 弾性, 9780
 弾性体, 9787
 断面, → 切断
 断面曲率, 8421
 値域, 1258, 2230, 4300, 4390, 6272
 チェイン, 4655, 8923
 チェザロ和, 6958
 置換の符号, 4582
 値群, 7862
 チャップマン-コルモゴロフの等式, 6149
 チャート, 5180, 5455, 8018
 チャーン形式, 8370, 8582
 チャーン類, 8370, 8582
 中間体, 7718
 抽象的熱方程式, 5804
 中心
 群の-, 7675
 中心化群, 7675
 中心化モーメント, 5951
 中心力, 7002
 中心力場, 6654
 忠実, 7727
 柱状集合, → 筒集合
 柱状領域, 9225
 中線定理, 4331
 稠密, 2795
 稠密に定義された有界な線型作用素の定理,
 4090, 4387
 超越的, 7719
 超関数, 8966
 超関数に対する微分積分学の基本定理, 4152
 超関数微分, 4142
 超関数列の収束, 4138
 超曲面, 5532, 8428
 超自然数, 6259
 超実数, 6259
 超弱作用素位相, 4457
 超整数, 6259
 超楕円的, 8889
 超導関数, 4142
 超フィルター, 3140, 6270
 重複度, → 縮退度
 超ベキ, 6233, 6270
 調和関数, 5290, 7912, 8797
 調和級数, 9575
 調和形式, 7591, 8637, 8911
 調和写像, 8532
 調和振動, 6613
 調和振動子, 6613
 直既約, 7850
 直積, → 積, 1251, 2162
 直線, 2596
 枝分かれた-, 1631
 直和, 7465, 7731
 直和位相, 2918
 直和線型空間, 4299
 直和内積空間, 4300
 直和の普遍性, 2322
 直和ノルム空間, 4299
 直和バナッハ空間, 4300
 直和ヒルベルト空間, 4300
 直径, 2843, 8487

- 直交, 4329
 直交行列, 5588
 直交群, 5588, 8214
 直交系, 4343
 直交射影, → 射影
 直交補空間, 4337
 直交リー環, 7463
 対, → 順序対
 対合, 3887
 対ごとに素, 2150, 2315
 対ごとに独立, 5982
 ツォルンの補題, 1266
 筒集合族, 3700
 提案分布, 1930
 定義域, 1258, 2230, 4300, 6271
 定義関数, 2159, 2236
 底空間, 7954, 8056, 8341
 被覆空間の-, 8272
 停止時刻, → マルコフ時刻
 定常分布, 6131
 定常マルコフ連鎖, 6138
 定数写像, → 定値写像
 定数層, 7956
 定値写像, 2235
 定点, 4935
 テイラー展開, 4689
 テイラーの公式, 8142
 定理, 2119
 $C_c^\infty(\Omega)$ の L^p 稠密性-, 4031
 適合性, 6066
 点, 2109
 テンション場, 8531
 点スペクトル, 4824
 テンソル, 5469
 テンソル積, 4564, 4565, 5469
 テンソル代数, 5469
 転置行列, 4464
 点列, 2317, 2638
 点列コンパクト, 3259
 点列の収束, 3252
 ディラック作用素, 8654
 ディラック測度, → δ 測度
 ディラックの δ 関数, → δ 関数
 ディラックの δ 超関数, → δ 関数
 ディラックのブラケット, 4995
 ディラック複体, 8691
 ディリクレ関数, 3921
 ディリクレ境界条件, 5133
 ディリクレ条件, 4911
 ディリクレ問題, 8943
 ディンキン族, 3476
 d -系, 3476
 $\bar{\partial}$ -問題の弱解, 9157
 デカルト座標系, 6451
 デカルト分解, 4471
 デッキ変換, → 被覆変換, 8309
 デッキ変換群, 8309
 デデキントの切断, 2588
 デュボア-レイモンの補題, 4006
 δ 測度, 3469
 δ 超関数, → デルタ関数
 等温座標系, 9035
 等距離作用素, 4469
 等距離写像, 2853, 4249, 8145, 8393
 等距離的, 8393
 等距離同型, 4249
 等距離変換, 8393
 等距離変換群, 8393
 統計的推測, 1827
 統計的学習, → 統計的推測
 統計的推測, 1907
 到達確率, 6122
 到達時刻, 6074, 6101
 等長埋め込み, 8108
 等長写像, → 等距離写像
 特異, 3737, 3760
 特異解, 5087
 特異型, 5948
 特異作用素, 4458
 特異スペクトル, 4860
 特異単体, 5513
 特異チェイン, 5513
 特異部分空間, 4860
 特殊解, 5087
 特殊線型群, 5588
 特殊線型リー環, 7463
 特殊直交群, 5588, 8214
 特殊ユニタリ群, 5588, 8215
 特性関数, 3713, 6033
 特徴ベクトル, 1936
 凸関数, 3589
 凸集合, 4219, 4335
 凸集合の台, → フェイス
 凸包, 4523
 トレース, 4613, 5017, 7721
 トレースクラス, 5018

- トレースノルム, 5018
 トロッター-加藤の積公式, 5798
 トロッターの積公式, 5797
 トーラス, 2885, 8025
 ドゥーブの不等式, 6081
 導関数, 4649, 5336
 同型, 7466
 層の-, 7977
 被覆空間の-, 8307
 ベクトル束の-, 8348
 同型写像
 ベクトル束の, 8348
 同次, → 斉次
 同時分布, 1858, 1881
 同相, → 同相写像, 2768
 同相写像, 2768
 局所-, 2783
 同値, 2201, 6207
 アトラスの-, 8019
 因子が-, 8867
 距離が定める位相の-, 2842, 3237
 条件が-, 2147
 同値関係, 1254, 2201
 同値類, 2202
 同等連続, 5098
 同変, 8551
 ドゥーブ分解, 6070
 独立, 3509, 5978, 5979, 5981, 5982
 独立同試行, 5989
 ド-モアブルの公式, 4757
 公式
 ド-モアブルの公式, 4125
 ド・モルガンの法則, 2158
 ドルボーコホモロジー群, 8599
 ドルボー作用素, 8601
 ドルボーの補題, 7942, 7945
 内挿不等式, 5215
 内的な元, 6252
 内的な論理式, 6256
 内点, 2794
 内部, 2794
 内部正則, 3465
 内部積, 7548
 内部微分, 9000
 内包的記法, 2158, 2348
 内容, 7705
 流れ, 9768
 ナブラ, 6992
 軟化作用素, 8679
 軟化子, 3968, 4027
 二項関係, 1253, 2200
 二項分布, 1877, 5940
 二進有理数, 3171
 二次変動, → 二次変分
 二次変分, 6095, 6106
 二重周期関数, 8740
 二重双対空間, → 第二双対空間
 二重否定, 2157
 ネイピア数, → 自然対数の底, 4122
 ねじれテンソル, 8399
 ネット, 3133
 熱核, 4081, 5820
 熱作用素, 5807
 熱積作用素, 5826
 熱半群, 5807
 熱方程式, 7023
 熱力学的極限, 6061
 ネーター加群, 7783
 ネーター環, 7780
 ネーター性
 位相空間の-, 7810
 ノイマン関数, 8836
 ノイマン境界条件, 5133
 濃度, 2466
 ノルム, 2850, 3239
 ノルム位相, 4456
 ノルム収束, 4456
 ハイゼンベルグリー環, 7461
 排他的論理和, 1237, 2115
 排中律, 2157
 背理法, 2157
 ハウスドルフ空間, 2965
 波数空間, → 運動量空間
 発散, 5292, 5434, 6993, 8503
 発散定理, 8504
 波動関数, 5255
 はめ込み, 8097
 等距離的-, 8535
 半開区間, 2596
 汎化誤差, 7285, 7360
 汎化損失, 1905, 1910
 汎関数ノルム, 3634, 4233
 半群, 2537
 反交換子, 5020
 反射的, → 回帰的
 反自己双対接続, 8544

- 反磁性不等式, 6373
 汎弱位相, 4303
 汎弱コンパクト, 4306
 汎弱収束, 4303
 汎弱点列コンパクト, 4309
 半順序, 1254
 反正則
 微分形式が-, 8910
 反正則型, 8200
 反正則接束, 8596
 反正則余接束, 8597
 半正定値内積, 4328
 反線型作用素, 4216, 4232
 半線型汎関数, 4267
 半双線型関数, → 準双線型形式
 反対称化作用素, 4590
 反対称集合, 4532
 反対称テンソル積, 4590, 5476
 半単純リー環, 7474
 判別式, 7876
 半有界, 4848
 ハーンバナッハの拡張定理, 4271
 漠収束, 6021
 バナッハ-アラオグルの定理, → アラオグル
 の定理
 バナッハ-アラオグルの定理, 4306
 バナッハ環, 3886
 バナッハ-シュタインハウスの定理, → 一様
 有界性の原理
 バナッハ $*$ -環, 3887
 バナッハ代数, → バナッハ環
 バークホルダーの不等式, 6095
 π -系, 3476, 3674
 バウリの排他律, 4592
 パラコンパクト, 5202, 7982, 8157
 パラメーター表示, 2348
 パーセバルの等式, 4087, 4092, 4348,
 4635, 5048
 非アルキメデスの付値, 4284
 非拡大作用素, 4802
 非可算, 1261
 光的, 7614
 引き起こされる可逆写像, 2377
 引き戻し, 2276, 2743, 5451, 5504, 8040,
 8799
 非結合的代数, 8113
 非再帰的, 6141
 非周期性, 6128
 非縮退, 9052
 非真性特異点, 9190
 歪み, 9778
 非斉次座標系, 8023
 非斉次方程式, 5138
 非退化
 キリング形式が-, 7474
 左イデアル, 2546
 ひだりいである左イデアル, 7464
 左移動, 8207
 左開区間, 3442, 3830, 3831
 左極限, 2683
 左逆写像, 2277
 左手系, 5485, 6578
 左不変ベクトル場, 8207
 否定, 2117
 等しい
 集合が, 2112
 集合が, 1245
 非負, 6113
 被覆, 2314
 被覆空間, 8272
 正則な-, 8309
 被覆写像, 8272
 被覆に対する基本対称関数, 8767
 被覆変換, → デッキ変換
 非負作用素, 4415, 4468
 被約, 7769
 非有界線型作用素, 4384
 評価写像, 2240
 表現, 4584, 6207, 8215
 表現行列, 3943
 表現空間, 4584, 7510
 表現の次元, 4585
 表現の次数, → 表現の次元, 7510
 表現の直和, 7511
 標構, 8060
 標準因子, 8867
 標準 m -単体, 5513
 標準 m -立方体, 5513
 標準化写像, 6262
 標準基底, 5354
 標準元, 6251
 標準正規分布, 5949
 標準接続, 8603
 標準束, 8600, 9011
 標準的, 8272
 標準的な向き, 4652

- 標準内積, 2630
 標準部分, 6262
 標準分解, 2376
 標本, → サンプル, 1827, 5936
 標本空間, 3508, 5936
 標本経路, 6176
 標本点, 3508
 ヒルベルト基底, 1147, 1854
 ヒルベルト空間の次元, 4352
 ヒルベルト空間論の基本定理, 4347
 ヒルベルト-シュミット型積分作用素, 5038
 ヒルベルト-シュミットクラス, 5019
 ヒルベルト-シュミットノルム, 5019
 ヒルベルトの基底定理, 7785
 比例限界, 9780
 ヒレ-吉田の定理, 4441
 非連結, 3000, 3228, 3391
 ビアスキの恒等式, 8380, 8563
 微細構造定数, 9707
 ビショップの定理, 4533
 微分, 5364, 5501, 8067, 8787, 9000
 写像の-, 8080
 左-, 5599
 方向-, 8045
 右-, 5599
 微分可能, 5335
 微分形式, 5500, 5546, 8790
 微分係数, 4649, 5336
 微分構造, 5457
 微分作用素, 5336, 8113
 微分多様体, 5457
 微分同相, 3959
 微分同相写像, 8041
 微分に対して閉じている, 9216
 微分表現, 8215
 ビアソンの χ^2 統計量, 7337
 ビオラ-キルヒホッフ応力, 9788
 ビカル群, 8936
 ビカールの小定理, 7890
 ピタゴラスの定理, 4329
 ビューズ-級数, 8782
 p 進付値, 4285
 p 次平均収束, 5958
 p 次変分, 6093
 P -準素イデアル, 7845
 p 値, 7310
 ϕ 関係, 8121, 8122
 ϕ 射影, 8122
 ファイバー, 2346, 7954, 8056, 8308, 8341
 ファイバー計量, 8384
 ファイバー束, 8055
 ファインマン-カット-伊藤の公式, 5929
 ファインマン-カットの公式, 5843
 フィッシャー情報量, 7399
 フィッシャーの非心超幾何分布, 7334
 フィルター, 3137, 6270
 フィルター基底, 3148
 フェイェルの定理, 6957
 フェイス, 4522
 フェルミオン, 4592
 フェルミオンフォック空間, 4601
 フェルミ-ディラック統計, 4592
 フォック, 4600
 フォン・ノイマン-シャッテンクラス, →
 シャッテンクラス
 フォン・ノイマン-シャッテン積, 4995
 不確定特異点, 9190
 複素化, 6204, 7624, 8177
 複素解析, → 関数論
 複素共役, 2533, 8909
 複素共役子, → 共役子
 複素局所座標系, 8184
 複素構造, 8199, 8609
 実線型空間に対する-, 8177
 複素数, 2113
 複素数値測度, 3725
 複素整数, 2529
 複素線積分, 4658
 複素多様体, 8019, 8020, 8179, 8183
 複素トーラス, 8194
 複素微分可能微分, 4649
 複素部分多様体, 8195
 複素ベクトル場, 8203
 複体
 CW-, 8329
 セル-, 8328
 含まれる, → 属する, 1245
 符号, 3948
 符号数, 8071
 付値, 7862
 付値環, 7856, 7861
 縁付け行列式, 6741
 フックの法則, 9779
 不動点, 3357
 不動点定理, 3358
 負の二項分布, 5941

- フビニ-スタディ計量, 8621
 不分岐, 8745
 普遍集合, 2146
 不偏推定量, 1815
 不変多項式, 8577
 普遍被覆空間, 8287
 不変部分空間, 5012, 7510
 不変分布, 6131
 フリードリクスの軟化作用素, 8678
 フレッシュ空間, 8973
 フレッシュ-コルモゴロフの定理, 4041
 フレッシュ微分, 5336
 フレッシュフィルター, 3147, 6270
 フレドホルム作用素, 4502
 フレドホルム指数, 4502
 フレドホルムのこうたい定理, → フレドホルムの択一定理
 フレドホルムの択一定理, 5004
 フレドホルムの第一種積分方程式, 5148
 フレドホルムの第二種積分方程式, 5148
 フレネル積分, 4707
 不連続, 4966
 不連続型, 5948
 フロー, 8042, 8129
 フーリエ逆変換, 4094
 フーリエ逆変換, 4069
 フーリエ変換, 4068, 4093
 物質座標, 9787
 ぶっしつりゅうし物質粒子, 9760
 部分位相空間, 2744
 部分加群, 7726
 部分環, 2543
 部分群, 2539, 7671
 部分集合, 1245, 2111
 部分集合族, 2114, 2312
 部分束, 8571
 部分体, 7718
 部分多様体, 8098
 部分等距離作用素, 4469
 部分ベクトル束, 8059, 8348
 部分リー環, 7453
 部分列, 3259
 ブラウン運動, 5831, 6150
 ブラウン橋, 5872
 ブロック行列, 5586
 ブロック対角行列, 5586
 ブローアップ, 8028
 分割, 2316
 分割表, 7327
 分岐次数, 8888
 分岐点, 8745
 分数環, 7821
 分数積分作用素, 6346
 分配関数, 1904, 1908, 5874
 分布, 1858, 3513, 5939, 8222
 分布関数, 1874, 3510, 5943
 分布収束, 5628, 5959
 分母のイデアル, 7864
 分裂完全列, 7738
 ブランシュレルの定理, 4097
 閉埋め込み, 2806
 閉曲線, 4651
 平均曲率, 8436
 平均曲率ベクトル場, 8540
 平均誤差関数, 1905
 平均対数損失関数, 1902
 平均対数尤度, 7368
 平均値不等式, 5311
 閉区間, 2596
 閉形式, 5509, 8797
 平行移動, 8041, 8383
 平行 $2m$ 面体, 5490
 閉写像, 2805
 閉集合, 2633, 2794
 閉多様体, 8098
 平坦, 8368
 閉凸包, 4523
 閉部分多様体, 8098
 閉包, 2794
 作用素の-, 4394
 平方根, 4495
 平面, 2596
 閉リーマン面, 8020
 閉論理式, 6237
 ヘッシアン, 5319, 8070, 9051
 ヘルダー空間, 5222
 ヘルダーの不等式, 3612
 ヘルダー連続, 5223
 変位, 9778
 変位ベクトル, 6588, 9763
 変位レトラクション, → 変形レトラクション
 へんかんかんすう, 8552
 変換関数, 8341
 偏極恒等式, 4088, 4331
 変形, 6207
 変形レトラクト, 8334

- 偏導関数, 5355
 偏微分, 5355
 偏微分係数, 5355
 変分
 曲線の-, 8482
 写像の-, 8530
 変分ベクトル場
 曲線に対する-, 8482
 変分法, 5251
 変分法の基本補題, 4006
 ベイズ自由エネルギー, 7387
 ベキ級数, 4113, 4745
 ベキ級数展開, 4689
 べき集合, 1262, 2159
 べき零, 7750
 べき零根基, 7769
 べき等, 7750
 ベクトル空間, → 線型空間
 ベクトル三重積, 6732
 ベクトル積, 5447, 5487
 ベクトル束, 8056, 8340, 9007
 同伴する-, 8552
 ベクトル場, 5433, 5499, 5545, 5567,
 6993, 8058, 8111, 8347
 ベッセル関数, 8835
 ベッセルの等式, 4348, 4635, 5048
 ベッセルの不等式, 4346
 ベッチ数, 8917
 ベルヌーイ試行, 1875
 ベルヌーイ分布, 1876
 ベータ関数, 6945
 ベータ分布, 1880
 ベール集合, 3464
 ベール集合族, 3464
 ベール測度, 3464
 ペロン類, 8952
 ホイットニー和, 8352
 包含写像, 2234
 方向微分, 5353, 5369
 方向余弦, 6581
 包合的, 8222
 法線, 5551
 法線応力, 9775
 法線方向, 7602
 法則, 3513, 5940
 法則収束, 5628, 5959, 6020
 方程式系, 5083
 法として合同, 2203
 法ベクトル, 5551
 法ベクトル空間, 5551
 訪問階数, 6137
 保型因子, 8809, 8824, 9001
 補集合, 1250, 2156
 保存力場, 6978
 補題, 2119
 ホッジ作用素, 7576
 ホッジ双対指数, 7576
 ホッジ分解, 8638
 ホッジリーマン対, 7651
 ホップ多様体, 8194, 8639
 ほとんどいたるところ, 3462
 ほとんど確実に, 5937
 ホモトピック, 8240
 0に, 8254
 道として-, 8253
 ホモトピー, 8241
 ホモトピー逆写像, 8245
 ホモトープ, → ホモトピック
 ホモログス, 8923
 ホモロジー群, 8923
 ホモローグ, 4662
 補有限フィルター, 3147
 ホロノミック基底, 7094
 ホロノミー群, 8570
 ホロノミー部分束, 8574
 本質的自己共役作用素, 4415
 本質的上限, 3555
 本質的値域, 4830
 本質的に有界, 3555
 母集団, 1827
 ボソン, 4592
 ボソンフォック空間, 4601
 ボルテラの第一種積分方程式, 5147
 ボルテラの第二種積分方程式, 5148
 ボレル可測関数, 3494, 5623
 ボレル可測空間, 3440
 ボレル可測集合, 3440
 ボレル関数, 3494
 ボレル関数カルキュラス, → 作用素解析
 ボレル-カンテリの第一補題, 6005
 ボレル-カンテリの第二補題, 6005
 ボレル集合族, 3439
 ボレル測度, 3464
 ボース-アインシュタイン統計, 4592
 ポアソン核, 6358, 8944
 ポアソン過程, 6152

- ボアソン効果, 9780
 ボアソン積分, 8944
 ボアソン点過程, 6062
 ボアソンの公式, 7917
 ボアソン比, 9781
 ボアソン分布, 5948
 ボアソンのウィルティンガーの不等式, 5234
 ボアソンの補題, 5509
 ポテンシャル, 5255
 ポテンシャルエネルギー, 5256
 ポントリヤーギン形式, 8587
 ポントリヤーギン双対性, 4103
 ポントリヤーギン類, 8587
 ポーランド空間, 3341
 埋蔵固有値, 4859
 末尾加法族, 5998
 摩天楼層, 8869
 マルコフ時刻, 6072
 マルコフ時刻までの情報量, 6075, 6102
 マルコフ性, 6117
 マルコフ連鎖, 1925, 1926, 6114
 マルコフ連鎖モンテカルロ法, 1929
 マルチンゲール, 6066, 6099
 マルチンゲール変換, 6084
 右イデアル, 2547
 右移動, 8207, 8217
 右極限, 2683
 右逆写像, 2277
 右作用, 8217, 8389
 右手系, 5485, 6578
 右連続
 確率過程が-, 6098
 情報系が-, 6098
 道, 8250
 道リフト性, 8281
 ミッタク-レフラー分布, 8877, 8897
 密度関数, 5948
 見本, → 標本
 見本平均, → 標本平均
 ミルマンの定理, 4529
 ミンコフスキー時空, 7613
 ミンコフスキーの不等式, 3613
 ミンコフスキー汎関数, 4278
 無縁和, 2151, 2316
 向きづけ可能, 5547, 8588
 向きと整合的, 5485
 向きを保つ写像, 5548, 5556
 無限遠点, 3188, 3235
 無限遠で消える, 5263, 6338
 無限遠で消える連続関数環, 3986
 無限集合, 1261, 2464
 無限小, 5792
 無限小近傍, 6299
 無限小数, 6260
 無限小生成子, → 生成作用素
 無限次元, 4246
 無限大数, 6259
 無限直和ヒルベルト空間, 4573
 無限に近い, 6260
 命題, 1229, 2119, 2120
 メビウス変換, 4968
 面積分, 6979
 面素, 5560
 目標分布, 1929
 モジュライ空間, 8545
 持ち上げ, 8276
 モナド, 6260, 6299
 モノ, 8000
 モノイド, 2537
 モレイの定理, 5218
 モレラの定理, 4701
 モンスター, 7676
 モンテルの定理, 7897
 モース関数, 9052
 モースの定理, 8076
 モーメント, 5951, 6975
 ヤコビアン, 3956
 ヤコビ行列, 3956
 ヤコビ恒等式, 7454, 8117
 ヤコビ多様体, 8936
 ヤコビ場, 8492
 ヤコビ方程式, 8492
 矢印記法, 2355
 ヤングの不等式, 3611, 4020
 ヤング率, 9780
 ヤン-ミルズ接続, 8543
 ヤン-ミルズ汎関数, 8541
 有界, 2508, 2593, 2633, 2638, 2843, 3252, 4935
 有界作用素, 3861
 有界な準双線型形式, 4356, 4460
 有界変動, 4948
 有界領域上での多項式環の L^p 稠密性定理, 4035
 有限階作用素, 4499, 4994

- 有限加法族, 3435
- 有限加法的, 3460
- 有限共起性, 6272
- 有限群, 2539
- 有限集合, 1261, 2464
- 有限次元, 4246
- 有限次元分布, 6207
- 有限数, 6260
- 有限生成, 7731, 7788, 7794
- 有限測度, 3462
- 有限表示, 7731
- 有限粒子線型空間, 4600
- 有限粒子ベクトル, 4600
- 優対角行列, 5675
- 優調和関数, 5290
- 尤度, 7286
- 誘導位相, 2891
- 誘導された向き, 5555
- 尤度関数, 1884, 7368
- 優マルチンゲール, 6067, 6099
- 有理型関数, 8731, 9190
- 有理型切断, 9015
- 有理数, 2113
- 有理数体, 2531
- 有理整数環, 2529
- 湯川ポテンシャル, 4183
- ユニタリ行列, 5588
- ユニタリ群, 8215
- ユニタリ作用素, 4091, 4469
- ユニタリ表現, 4585, 4974
- ユニタリ不変性, 4840
- ユニタリ不変特性, 4840
- ユニタリ不変量, 4840
- ユニタリ変換, → ユニタリ作用素, 4469
- ユークリッド位相, 2740
- ユークリッド空間, 2596, 2631, 8051
- ユークリッド計量, 8428
- ユークリッド内積, → 標準内積, 2630
- ユークリッドノルム, 2631
- 余因子, 5409
- 余因子展開, 5410
- 要素, → (集合の) 元, 2109
- 要素の族, 2316
- 余核, 7737
- 余弦関数, 4125, 4757
- 余次元, 5404
- 余接空間, 5364, 5500, 8052, 8787
- 予測誤差, 7283
- 予測分布, 1908, 7285
- 余像, 2377
- 余微分作用素, 7584
- 四平方恒等式, 6863
- ライプニッツ則, 5345, 8044
 - ベクトル場の-, 8113
- ラグランジュ記述, 9758
- ラグランジュ座標, 9762, 9787
- ラグランジュ乗数, 5407
- ラグランジュ表現, 9762
- ラゲール多項式, 4362
- ラッセルのパラドクス, 2173
- LASSO 正則化法, 7351
- ラドン測度, 3465
- ラドン-ニコディム微分, 3767
- ラブラシアン, 7590, 7912, 8613
 - 一般化された-, 8718
- ラプラス作用素, → ラブラシアン
- ラベル座標, 9761
- λ -系, → d -系
- ランク, → 階数
- ランダウの記号, 4648, 5335
- ランダムウォーク, 6140
- 乱歩, → ランダムウォーク
- リウビルの定理, 4738, 8739
- 離散距離, 2844
- 離散固有値, 4859, 6385
- 離散スペクトル, 4859, 6385
- 離散的
 - 写像が, 8309
- 離散付値, 7855
- 離散付値環, 7856
- リッチ曲率, 8421
- リッチ形式, 8627
- リプシッツ定数, 3957
- リプシッツノルム, 3957
- リプシッツ連続, 3957, 5095
- 粒子の統計, 4592
- 留数, 4700, 8792
 - ミッター-レフラー分布の-, 8877
- 留数定理, 4701
- 流体粒子, 9761
- 領域, 3001
- 量化記号, → 量量子
- 量量子, 2117
- 両側イデアル, 2547
- 両立, 5456, 8018
- 両立性

- 接続の, 7169
 接続の-, 8402
 理論
 スペクトル-, 2755
 臨界値, 8069, 8087
 臨界点, 8069, 8087, 9051
 リンデレーフ空間, 8163
 リー括弧積, → 交換子積, 8208
 リー環, 7453, 8119, 8208
 リー群の-, 8209
 リー環の表現, 7470, 7510
 リー環の表現の同値性, 7510
 リー群, 8207
 リース-フィッシャーの等式, 4348, 4635, 5048
 リースの表現定理, 4341
 リー微分, 7552, 7560, 7563
 リーマン可積分, 3919
 リーマン球面, 8194
 リーマン曲率テンソル, 8410
 リーマン計量, 8050, 8392
 リーマン多様体, 8050
 リーマン-フルビッツの等式, 8888
 リーマン面, 8020, 8727
 リーマン-ルベーグの補題, 4071
 累積分布関数, → 分布関数
 類別, 2374
 ルジャンドル多項式, 4362
 ルベーグ-ウィナー測度, 5853
 ルベーグ可測関数, 5623
 ルベーグ可測集合, 3839
 ルベーグ外測度, 3837
 ルベーグ空間, 3557
 ルベーグ-スティルチェス積分, 4949
 ルベーグ測度, 3467, 3839
 ルベーグの意味で p 乗絶対可積分な関数の空間, 3557
 ルレイ被覆, 8841
 ルンゲ, 8960
 ルンゲ対, 9176
 ルート, 7479
 ルート系, 7482
 ルートの基本系, 7499
 ルートの系列, 7493
 ルート分解, 7483
 ループ, 8250
 零因子, 7836
 零化イデアル, 7836
 零環, 2543
 振形式, 8221
 零集合, 3810
 零点, 4739, 8069
 零点の位数, 4739
 レイヤークーキ表現, 3689
 レゾルベント, 4798
 レゾルベント集合, 4798
 劣調和, 7926, 8949
 劣調和関数, 5289
 劣調和不等式, 7929
 劣マルチンゲール, 6066, 6099
 レトラクション, 2771
 強変形-, 8334
 変形-, 8333
 レナード=ジョーンズポテンシャル, 5257
 レビ形式, 9116
 レビ-チビタ接続, 8402
 レビの問題, 9132
 レフシェッツ作用素, 7636
 レフシェッツ分解, 7645
 レベル集合, 4830
 レリッヒ-コンドラショフの定理, 5232
 連結, 3000, 3228, 3391
 連結準同型, 8004
 連結成分, 3018
 連鎖律, → 鎖則
 連続, 2658
 上半-, 2824
 右半-, 2824
 連続関数, → 連続写像, 2658
 連続関数カルキュラス, → 作用素解析
 連続写像, 2658, 2762
 連続スペクトル, 4824
 連続体, 9757
 連続体濃度, 2492
 連続代表元, 5174
 連続な確率過程, 6207
 連続の方程式, 7022
 連続版, 6207
 連立方程式, 5084
 レヴィの反転公式, 6035
 レート関数, 1791
 ロルニックノルム, 6385
 ロルニックポテンシャル, 6385
 ロンスキアン, 5136, 8900
 論理式, 6236
 論理積, 1237, 2117

- 論理和, 1237, 2117
ローテーション, → 回転
ローブ可測集合, 6320
ローラン級数, 4695
ローラン級数体, 8781
ローラン展開, 4695
ローレンツ計量, 7613, 8466
ローレンツ変換, 7616
ワイエルシュトラス点, 8902
ワイエルシュトラスの多項式近似定理, 4537
ワイツェンベックの公式, 8516
粹束, 8556, 8572
粹場, 8345
和集合, 1249, 2151, 2313
崑, 6130
ヴァンデルモンドの行列式, 6741
コーシー列, 3284, 3394
シャノン情報量, 7360
ストーン-チェックのコンパクト化, 3204
リーマン多様体, 8392
ルベグ-スティルチェス測度, 5944
ルートの系列, 7493
ヴェイユ準同型写像, 8578
ヴィタリの定理, 7901
分布, 5939
分数体, 7750
単位の分割, 5184
実現可能, 1902
引き戻し, 8355
部分ネット, 3134
除去可能特異点, 9190