

## 0.2.2 専門的なコンテンツ

### 0.2.2.1 お散歩コースの案内

そこでそんなあなた向けに現代数学お散歩コースっていうのを作りました. お散歩コースへの登録をご希望の方はこちらから.

- [現代数学お散歩コース 登録フォーム](#)

こっちは中学高校の数学が社会のどんなところでどんな役に立ってるのか, 中学高校の数学を基礎にした物理の話, そしてそういう物理が社会のどこでどんな役に立ってるか, そんな感じでのんびりやっています.

「数学が何の役に立つかわからないから全然やる気が出ない」みたいな話はよく聞きます. 数学サイドからの説明として金融工学での確率微分方程式とか GPS に活着ている微分幾何・リーマン幾何みたいな話はよくあります. でも中学高校の数学からどう発展してそこに辿り着くのか, そういう感じの話ってあんまりないですね. あったとしてもやっぱり目立ってないでしょう. 既存のコンテンツとかぶるところはあっても私なりにいろいろまとめ直すのもありかと思って作ってみたお散歩コースです.

ご興味ある方はぜひどうぞ.

- [現代数学お散歩コース 登録フォーム](#)

### 0.2.2.2 幾何や代数の観光に最適な本

よほどの強烈なモチベーションや希望があるならいきなり個別の細かい勉強をはじめてもいいでしょう. しかしこのツアーに参加されたあなたならまずは数学世界の全体像を見たいと思っているのではないのでしょうか. 代数や幾何に関してはフレンケルの本 [295] がお勧めです. ぜひ読んでほしいので Amazon へのリンクもつけておきます.

- <http://tinyurl.com/hvskcl2>

まずはこの本を読む上でのポイントを紹介しましょう。まえがきに書いてある通り、**全部理解しなくても大丈夫**です。私もわからないところがたくさんあります。名前くらいは知っている、そういう話が山程出てきますし、そもそも本の中で詳しい説明が全然ない概念もガンガン出てきます。この本を読むときは、そういう細かいところにこだわらず、大きく話を掴むようにしてください。

尋常ではないほど深く広い数学世界が楽しめる本です。代数や幾何方面で私が作りたいと思っている内容をプロが実際にやってみた、そういう趣の本になっています。この本でさらっと説明されていることを突っ込んでみる、そういう感じのミニ講座が何個も作れるほどです。

この本は四の五の言わずに買って読んでほしい、そういうレベルの本です。対称群程度の基本的なところからはじまり、現代数学・現代物理の恐ろしく深いところにまで突っ込んでいきます。超弦理論の話まで書いてあるほどです。

それ以外にもいろいろな話題があります。フレンケルが泌尿器科の医師と共同研究したときに数学的思考様式が大事なのだ気付いた話、調和解析は和声学の研究からはじまっていること、ガロア群と調和解析の話、ラングランズプログラム、素粒子と群の表現論、これ以外にも代数と幾何の話がいろいろ書いてあります。

私がいろいろ言うよりも、実際に読んでみてほしいと本当に思っています。このツアーにここまでついてきてくれたあなたならきっと楽しいと思うはず。ぜひ買って読んでください。感想や「この本のこんなところをもっと知りたい!」みたいな要望があればぜひ教えてください。私自身も何か考えますし、必要ならフレンケル本人にもメールして聞いてみます。

ぜひ読んでほしいので、最後にもう1度 Amazon へのリンクを載せておきます。

- <http://tinyurl.com/hvskcl2>

### 0.2.2.3 今後の基本的な方向性

あなたがどんな数学を身につけているかによります。あくまで数学科の数学をきちんと勉強したい、そういうご要望に対する方向性をご紹介します。

まずは集合と位相です。英語を読み書きしたい、そういう場合にはまずアルファベットを知らないと話になりません。集合と位相、特に集合はそういうレベルの話です。

集合の記号や概念を使って数学を組み立てていくので、集合を知らないとうちにもなりません。集合と位相がセットになってる本も多く、そのくらいに位相も基本的な概念です。解析学で極限を取るときにどうしても必要ですし、幾何でも基本的な舞台です。だからまずはここを固めましょう。

はじめて見たとき位相のどこでどう遠近感が出るのかまったくわからない方も多いでしょう。あなたもそうなるかもしれません。そういう場合は距離空間やノルム空間からはじまる本を読むのがお勧めです。

そこが終わってからは割と自由です。あとでいろいろな本を紹介するので、あなたのご興味に合わせて本をチョイスして数学世界を探険してってください。論理的にはいきなりルベークにもいけますし、関数解析にもいけます。

あなたが集合・位相からはじめて関数解析系の数学を1冊でさらっと眺めてみたいなら、[\[137\]](#)をお勧めします。英語ではあるものの、Doverで安いですし、集合・位相からはじめて距離空間の話や常微分方程式への応用、関数解析入門としての位相線型空間論があり、ルベーク積分まで書かれています。もちろんそこまで気楽に読める本でもありません。しかし、ペーパーバックで2,000円もしないという破格の値段で、膨大なカバー領域を誇ります。読み切れなくても損した気分にならないでしょう。パラパラ眺めるだけでも楽しい本です。

その他に関数解析の世界に触れる方向だと [\[215\]](#) がお勧めです。ふつうの教科書の体裁ではなく、関数解析の立役者の1人、バナッハを含むポーラン

ドの数学者の仕事を取りながら関数解析の世界、無限の世界を深く旅していく本です。

私はこれを学部1年のときに読んで、全然わけわからなかったのに深い感銘を受けました。大学院で数学に進むくらい数学にのめりこんだ原因の一つです。[137]の前に読んだ方がいいかもしれません。

上の本、特に [137] くらいの本や分野を扱うようになると、読者であるあなたがある程度数学できることを前提にして書かれています。抽象論への耐性もかなり仮定されています。そこは気合が必要です。

解析学は物理・工学との交流が昔からあり、いろいろなレベルの本があるため他の分野よりも勉強しやすいはずです。解析学から代数や幾何に行く道もあります。よほど解析が苦手だったり、全く興味がもてなかったりするとまた違うアプローチが必要ではあるものの、解析に抵抗がないなら、解析から入っていくと本の選択肢が増える利点があります。

#### 0.2.2.4 参考・推奨文献

ここからが今回のメインです。このツアー参加者にはいろいろな段階の方がいます。いわゆる人文学・社会学専攻の方で数学が本当に苦手だという方から、バリバリの理工系の方、さらには数学科だった方までいます。これからも私はあなたに継続的に数学の情報をお伝えしていきます。でもあなたは自分のペースでゴリゴリ進んでいきたいと思われているかもしれません。それに合わせて主に私が読んだ本の中からお勧めを紹介していきます。

以前書いた文章からの切り抜きなので文体が違います。念のため注意しておきます。

##### 0.2.2.4.1 集合・位相

集合と位相で分かれている本もありますし、[137]のように関数解析の本の中にワンパックで入っていることもあれば、位相幾何や幾何の本の中にワンパックで入っていることもあります。ここではとりあえず集合か位相がメ

インになっている本をご紹介しますおきましょう。

- 『論理と集合から始める数学の基礎』 [112]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: わかりづらい表現への注意といった初学者向けの注意がとてもいい。数学基礎論的な方面の専門性だけでなく、著者の教育者としてのスタンスがはっきりしている。表現に関しては通して眺めて自分自身の明快な言葉遣いに反映させたいと思うし、反省するいい機会になる。
- 『集合と位相 そのまま使える答えの書き方』 [105]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: とにかく丁寧で非常によい本。名前で駄目学生用の中身のない本などと思っはいけない。集合・位相の初学者はまずこれを読むといい。薄くて丁寧なのでその分扱われている内容は少ないが内容が最低限に絞り込まれた形になり、むしろ良い点として挙げられるようになっている。これを読んだあとはもう少し詳しい本で色々勉強してほしい。特に分離公理, コンパクト性, 距離空間のあたりはきっちりやるべき。
- 『集合・位相入門』 [158]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - 集合・位相では有名な本で、私の学部の講義では教科書として採用されていた。位相のところではユークリッド空間からはじめて位相空間に行くのでそのところについては初学者への配慮がある。ただところどころ証明を読者に委ねていて、今の時代の初学者には結構読みにくいのではという気がする。1968年に書かれた本なので、その頃の学生向けということなら相当丁寧なのだろうという印象はある。集合の部分は順序数など結構記述が半端な気はする。初学者にはむしろ一樂の『集合と位相 そのまま使える答えの書き方』を勧めたい。悪い本ではないと思う。

- 『集合と位相』 [199]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: 未読. 代数幾何や数論幾何で使う概念を例としてたくさん挙げているようで, 「学部1年のときは何だこれって思ったけど学部四年になって代数幾何をやるようになってありがたみがようやくわかりました」みたいなことを言っていた人がいたので気になっている.

#### 0.2.2.4.2 線型代数

- 『線型代数入門』 [200]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: 物理や諸工学への応用にはものすごく使える. 詳しい書評は[このページ](#)にまとめてあるのでそちらを見てほしい.
- 『線型代数学 (新装版)』 [206]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: 線型代数の本格的な本. テンソルのような類書では触れない話題も取り上げられている. これらは数学内部での応用・展開では必要不可欠だが, 初等的な範囲からそこまで意識してきっちりやっている本, 特に最近は見かけないのでとても貴重. 数学内部と書いたがテンソル自体は連続体力学の tension によって来ていて, 物理や物理を基礎にした諸工学との関係も深いので結局いろいろところで使われている概念だ. 量子統計や場の量子論でも使う. 皆が皆そこまでかっちりやる必要などないとは思っているが, 気になってしまったというなら, この本を読むことは一つの指針になる.
- 『線型代数』 [93]
  - [Amazon へのリンク](#)
  - コメント: 東北大助教の黒木元さんが Twitter でお勧めしていた

本. 一番の特徴は【展望・量子力学入門】という章があるところだろう. 著者は数学者だが, 比較的多くの人が興味を持つであろう分野の話積極的に紹介している. これ以外にも本全体を通して線型代数の魅力や射程の広さを伝えている.

- 『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—』 [142]

- Amazon へのリンク

- コメント: 未読. 線型代数は Google のページランクでいろいろな応用がされている. 完全な形ではないが, 行列と線型写像の区別とも深い関係がある 本質的な抽象化を必要としている応用でもある. 具体的で高速な計算アルゴリズムの話や, 実際に出てくる行列の性質に注目した話, その一方で上でも説明した数学の深い部分との関わりなど, 工学での数学応用に関して非常に参考になる話題であることは間違いない. 私自身 YouTube やニコニコ動画に動画を投稿しているし田崎さんの教科書にも言及がある.

#### 0.2.2.4.3 解析

##### ■0.2.2.4.3.1 解析一般, 入門

- [230] 『解析入門 I, II』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jblnfft>
  - コメント: 最初から最後まで息が切れることなく厳密で厳格. 分厚いし隙なく厳格なので読んでいて消耗するし教科書として最初から読むのは勧めないが, わからないところを辞書的に調べるのには本当に役に立つ. 積分も Riemann 積分に時間を使うなら Lebesgue に行った方が「実用的」だし, そういうところにはある. あと複素解析は数学的にはもう少し切り込んでほしいというか, 広い話題を扱ってほしい気もするが, 必ずしも数学科だ

けに向けたわけではない解析入門の中の1章としてはあのくらいの扱いが限界という気がする。数学科や素粒子・超弦まわりの物理の人が複素解析をもっと突っ込んでやる必要があるなら、実用性からいっても Riemann 面まで踏み込む必要がある。Weyl や Forster, Donaldson あたりの本が有名だが最近日本語でも本がたくさん出回っているので今後の調査の課題としたい。

#### ■0.2.2.4.3.2 関数論

- [3] 『複素解析』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jmvu5db>
  - コメント: Fields 賞受賞者, Ahlfors の有名な教科書。学部二年で読んだとき力不足かかなり読みにくかった覚えがある。結構色々書いてあって面白いのは確か。
- [178] 『多変数解析関数論 学部生へおくる岡の連接定理』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zoudame>
  - コメント: 重要性を考えて接続性を前に出してきている。本筋は  $\mathbb{C}^n$  の議論にしている、必要以上の複雑化や基礎知識の要求を避けるために相当意識的に複素多様体上の議論を避けている。もちろん書籍名からして学部生向けなのでそれはそうだろう。分野としての特性でもあるが、可換環論やコホモロジーのように代数としても大事な議論があり、解析的にハードな議論もあり、幾何との接続もありで総合的にとても勉強になる。一読した限りではかなり泥臭く議論しているので、そういう方が好きな人には丁寧で読みやすいと思う。所々にあるコメントも楽しいのでお勧め。
- [104] 『An Introduction to Complex Analysis in Several Variables』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/h3jymu7>
  - 多変数関数論の有名な本。Hörmander 自身による  $\bar{\partial}$  方程式とい



う偏微分方程式系を解くことで多変数関数論の色々な問題を解決する手法を紹介している。複素解析幾何という分野と直接的に繋がっていてもいるし、今も大きく発展している分野なのでその方面に進みたい人は必読の本の一冊。

#### ■0.2.2.4.3.3 Lebesgue 積分

- [108] 『ルベグ積分入門』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jlnrokt>
  - コメント: Amazon では古くさいなどと評されているが、丁寧にとてもいい本。むしろ昭和の時代ののんびりした雰囲気があり老教授とお茶でも飲みながら数学している気分になる。最近の要領のいい本ではあまり見かけない  $\mathbb{R}^n$  上の Lebesgue 測度と位相に関する古き良き定理も論じられている。Fourier 変換や Radon-Nikodym など一通りのことは書いてあるしのんびりとお茶でも飲みながら読むべき。

#### ■0.2.2.4.3.4 関数解析

- [137] 『Introductory Real Analysis』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zt6ulk7>
  - コメント: 集合・位相空間論からはじまり、線型位相空間論の基礎や Lebesgue 積分まで議論する。解析学に特化して初歩から Lebesgue までを 1 冊で一気に勉強したいならそれなりにいいと思う。Dover で安くて内容も豊富なものいいところ。ただある程度数学の基礎知識 (集合・位相) があるなら、本格的な Lebesgue 積分や関数解析の本を読んでしまった方がいい。
- [44] 『Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential

## Equations』

- Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hex4zsz>
  - コメント: 日本語訳もある有名な Brezis の本の増補改訂版. ページが倍くらいに増えているが, 問題演習に関する部分で本文の分量は (日本語・英語の差まで考えて) 大きくは変わっていない. 日本語版では訳者が工学部での教育にも使っていたと書いていたので, (適切な指導のもとでは) 工学の人にも読みやすく使いやすい本なのだろう. Sobolev, または偏微分方程式本編のところは最初一次元でそれから高次元となっている. 一緒にやると指数に関する場合分けが面倒だし, 分けたら分けた要領が悪いようにも感じるしで, その辺のさじ加減の難しさを改めて感じた. 分けたこの本の手法はそれで意義がある. 変に一般化しないで定数係数に絞って議論しているので本格的な学習の 1 冊目にはいい. 応用まで見据えた関数解析への入門としてもお勧めできる. 複素係数での関数解析も最後に議論されていて, 関数解析の教科書としての完全性も上がっているので偏微分方程式以外の人, 作用素環のように複素係数が必要な人にもお勧めできる本になった.
- [97] 『ヒルベルト空間と線型作用素』
    - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/oxv8czy>
    - コメント: Hilbert 空間だけでなく Banach 空間の議論も少しある. 関数解析の基本定理も網羅されていて関数解析の本としても使える. 巻末の付録が尋常ではない程充実していて, Krein-Milman の端点定理や Riesz-Markov-Kakutani など丁寧な証明つきで書いてある. Lebesgue が分かっていないとスペクトル定理の証明で少し詰まるかもしれない. 本のはしがきでも説明されているが, あえて作用素環には踏み込まずに基礎となる作用素論について説明している感じ. ところどころ functional calculus や非可換  $\ell^p$  としてのコンパクト作用素・Schatten クラスなど作用素環でも大事な話は書いてある. 3 章のスペクトル定理と 4 章

のコンパクト作用素, 付録までをきちんと読めば元が取れる. 作用素論を専門にしようという人は作用素論の話題に特化した 5 章以降も読むといいだろう. 私が本格的に読み込んだのは 4 章までだが, すっきりとまとまっていて非常によい本でお勧めできる.

- [146] 『Analysis』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zr7fzex>
  - 前半が割と本気でつらいが, 応用方面に興味がある人は挑戦する価値のある本だ. 以下の紹介を見ながら使い方を検討してほしい. 全体的にだが, 本当に応用向きなのでむしろ最良定数評価を本気でやっている. これが異常なくらいしんどいので, そういう部分は適当に飛ばして結果だけを使うようにしてもいい. 1 章は Lebesgue を全く知らずに読んで理解できるのかよくわからない. 2 章は関数解析の話を抽象論に行かず  $L^p$  レベルで頑張っているのはなかなか面白い. いきなり関数解析の抽象論に馴染むのはつらそうという人には挑戦の価値がある. 3 章, これがつらい. 本当につらい. 初読では定理を眺めて, 証明でつまったら適当に読み飛ばしてもいいだろう. 積分不等式のところも大切だがつらいので上に同じ. それ以降, Fourier や Sobolev はその前の章に比べればだいぶ読みやすいはずだ. ポテンシャル論からこの本の主眼である物理への応用の本論だ. 全くもって楽ではないが, 著者の本領が発揮されるところでもある. 後ろ 2 章は量子力学への応用だ. その方面に興味がある人は入門にはいいだろう. Thomas-Fermi に関しては原論文の方が説明が丁寧で読みやすい. 以前これに関して東工大でセミナーをしたこともある.
- [193] 『METHODS OF MODERN MATHEMATICAL PHYSICS』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jbt34wy>
  - コメント: 4 巻本. 本当は 10 巻以上出す予定だったが 4 巻で止まっているし, もう出ないだろう. しかし 4 巻まででも 2000 ページくらいあり全部は読めていないし読むものでもない. 数

学・数理物理あるあるとして、予備知識自体は大していらぬが尋常ではない数学力を仮定されている。新井先生の本で3ページくらい証明が半ページくらいしかなかつたり、同じく新井本で1ページくらいある証明が『Trivial.』の一言で終わっていることがあり本当につらい。昔の人はよくこんな本で勉強できたものだと思うし、近年よく言われる学力低下という言葉は真剣に受け取らざるをえない感がある。論文では時々引用されるのでその証明を読みにいかないといけなくなることがある。論文で引用されたときのように必要なときに参照しに行く本。勉強自体は普通の関数解析、作用素論系の話は新井先生の本を見れば十分だ。論文でよく引用される重要文献で、他にまとまって書かれていることも少ない定理が載っていることもあるので一応お勧めリストに入れておく。

#### ■0.2.2.4.3.5 常微分方程式

- [101] 『常微分方程式の新しい教科書』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/z459wuh>
  - コメント: レイアウトがすっきりして読みやすい。機械とかでも大事な力学系や安定性に関わる理論への接続もあって、けっこう良いのではないか。細かい書評やコメントはサイト <http://wp.me/p4PcgX-19f> にまとめている。

#### ■0.2.2.4.3.6 偏微分方程式

- [127] 『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』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jngyv8y>

- コメント: かなり応用よりの話を書いてある。物理っぽいところ、モデルの導出から Fourier の基礎、関数解析の基礎、逆問題の基礎、数値計算法までをとにかく一冊にまとめきろうというコンセプト。当然細かいところは他書に任せられた形になっているが、通して一冊読んで概要を掴むという意味ではとても良い本だと思う。数学的にもう少し突っ込んだことに関しては [177] 『逆問題の数理と解法—偏微分方程式の逆解析』が参考になる。こちらだと特に山本先生担当分の波動方程式の話は主に次元を詳しく議論することで逆問題の数学への導入としている。
- [177] 『逆問題の数理と解法—偏微分方程式の逆解析』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/ha5l8jj>
  - コメント: [127] 『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』では熱方程式に限定しているが、こちらは波動方程式、変分法と楕円型方程式、離散化手法などもう少し幅広い話題が書いてある。[127] を読んだ後に読むと知識的には大体問題ない。証明は丁寧だが基本的な事実については紹介に留まる。この辺で使い方を学んだあと気になるなら適宜きちんとした数学書にあたる、という方向で進むのもいいだろう。山本先生パートで熱方程式の解の収束性の悪さとかそういう話もしていて、応用上の重要性もきちんと説明している。特にシミュレーションにあまり馴染みがない数学の人が読むなら、そういう部分は読み飛ばさないようにしてほしい。
- [70] 『Partial Differential Equations』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/h7bbvpt>
  - コメント: 偏微分方程式への本格的な入門書。あくまで数学の偏微分方程式の本なので、一般の物理・工学の人が読むにはハードルが高いだろう。線型・非線型両方の議論があり、割と丁寧に書かれている方だ。簡単な方程式については非線型含めて厳密解についての記述もある。具体例の議論も丁寧。非線型半群といった

話題すらあって勉強になる.

- [85] 『Elliptic Partial Differential Equations of Second Order』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zt2pljh>
  - コメント: 楕円型の超有名な本で基本文献. あくまでも数学の専門家が読む本. 幾何解析のような偏微分方程式のユーザくらいなら読むだろうが, それでもやはり数学関係者が読む本だ.

#### ■0.2.2.4.3.7 応用数学

- [115] 『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』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hroxv2u>
  - コメント: 各論を論じる傾向が強いが工学にはいいのだろう. 直交多項式の理論は Hilbert 空間の枠組みですっきり見通せるが具体例への理解も大切で, 特に物理・工学ではそう. 電磁気や量子力学などの偏微分方程式を解くときにも実際に使うので多少の親しみは必要. 工学だと特殊関数の扱いが大切だと聞いている. コラムのやりとりで出てくる学生, 何だかんだで相当優秀という気はするし, あれですら理想的と言えるのではないかという気はする.

#### ■0.2.2.4.3.8 代数解析

- [207, 208] 『Theory of Hyperfunctions I, II』
  - 論文へのリンク 1 (無料): <http://tinyurl.com/ha8n8yw>, 論文へのリンク 2 (無料): <http://tinyurl.com/h8o2q6g>
  - コメント: 佐藤幹夫本人による佐藤超関数の解説. 2015-10 時点で私はまだきちんと読み込めていない. Twitter 的な意味での

Paul いわく、今読んでも研究のインスピレーションが湧いてくるアイデアの宝庫という。

- [164] 『佐藤超関数入門』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zxb2cow>
  - コメント: 2015-10 時点でまだきちんと読めていない。見た限りでは日本語でも英語でも数少ない佐藤超関数, 代数解析の入門書だと思っている。佐藤超関数, 前から気になっているし多変数関数論への入門としても使ってみたく, とても気になっている。最後に楔の刃の定理の話もある。これは一般場の量子論 (という数理物理の分野) で使われている定理で関数解析レベルでの話もあるが, 代数解析で見るとより本質がクリアにわかるという話なので, それを勉強したいというモチベーションもある。
- [138] 『佐藤超関数論入門』
  - 文献へのリンク: <http://hdl.handle.net/2433/107215>
  - コメント: 代数解析は本当に状況がよくわかっていないが, それなりに良く読まれた文献のようだ。読みやすいとは思う。佐藤幹夫自身の論文もあり, それは今でもアイデアの宝庫であると代数解析の専門家でもある Paul (Twitter 的な意味で) 伺ったことがある。

#### ■0.2.2.4.3.9 作用素環

- [113, 114] 『Fundamentals of the Theory of Operator Algebras』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/ze2z4ml>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/h6y6fmw>
  - コメント: 作用素環の標準的な入門書。やるなら II まで読まないともともな入門にならない。前半の 1, 2, 3 章は飛ばして 4 章の  $C^*$  からはじめていいが, Banach algebra の 3 章はお好みだ。富

山先生から「彼らの教育的な姿勢が滲み出ていてとても丁寧な本だ」というコメントを頂いたことがある。

- [38] 『K-Theory for Operator Algebras』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jzhqnyr>
  - コメント: これは  $C^*$ -環論で大切な作用素  $K$ -理論の入門書. この分野では真っ先に挙がる本.
- [173] 『作用素環と幾何学』
  - PDF へのリンク: <http://tinyurl.com/hzw19s6>
  - コメント: 幾何, 特に位相幾何サイドからの非可換幾何への入門書. 作用素環の雰囲気もわかるので作用素環に興味がある人がさっと眺めるのにも便利.
- [1] 『量子確率論の基礎』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jx9t1mv>
  - コメント: 作用素環で von Neumann 環を非可換確率論と呼ぶことがあり, 大雑把にいうとその辺. ただしこの本では確率論的な色彩をもっと強めていて作用素環的な色彩はあまりない. 量子統計・場の量子論で扱う Fock 空間なども登場する. 作用素環の世界・確率の世界を少し広げてみたい人にはお勧め.

#### ■0.2.2.4.3.10 確率論

- [110] 『Kac 統計的独立性』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zh6gzwo>
  - コメント: 確率論の副読本として楽しい. 三角関数の等式を確率論的に見るところからはじまり, 思いがけないいろいろなトピックを探検する. 数論との関係も議論されている. 最後のエルゴード理論のところは執筆当時最新の話題だった分, 今では古臭い記述になっているとのことだが入門にはいいだろう. 2014 年



の Fields 賞は 4 人中 3 人がエルゴード関係の仕事をしたことがあり, Mirzakhani にいたってはまさにそれが受賞理由の一つになっている. Mirzakhani は Riemann 面の幾何の人であり, エルゴード理論の射程の広さがわかる. エルゴード理論は正確には統計力学が元だが数学的には確率論にその源流がある. そうしたトピックを楽しく学ぶにはお勧め. めちゃくちゃに難しい話題はないので初学者にもお勧めできる.

- [272] 『マルチンゲールによる確率論』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/z96xljq>
  - コメント: すっきりとコンパクトにまとまっているが, 「証明の細部を埋めるのは読者の楽しみである」という姿勢の著者なので, 初学者が読むには大変だろう. ただそのおかげで本のテンポ自体はとてもいい. 舟木先生の本が丁寧なので, そちらを読むのもいい. Lebesgue 自体は伊藤清三本をお勧めしている.
- [79] 『確率論』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hbpzpqj>
  - コメント: かなり丁寧でしかも話題豊富なので読んでいて楽しい. 例えば分布の収束の定義について「どうしてこういう定義なのか」という「気分」についての説明もあり, 初学者が疑問に思うところを丁寧に潰している. 舟木先生の教育力, 経験が光る本. Markov 鎖の場合に限ってはいるがエルゴード性に関する記述もある. 確率積分は書いていないので, 別の本を読もう. 確率論からすると完全な取り扱いはないが, 量子力学・場の理論周りで使う人には新井先生の本を勧めておく.

#### 0.2.2.4.4 表現論

- [22] 『物理の中の対称性-現代数理物理学の観点から』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/goxel2m>

- コメント: 対称性を軸に相対論や電磁場の理論を含む古典論から量子力学までを統一的に議論する。最後は超対称性の議論をして終わる。数学的には(連続)群の表現論がメイン。量子力学以降は非有界作用素が出てくるため数学的にはかなり難しいが、そういう部分は適当に流しつつ必要なところだけ読めばよい。標準的な物理への応用に絞って数学的にきちんとやりたいならお勧めできる。
- [98,99] 『線形代数と群の表現 I, II』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/jzb3j7m>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/z7mzyfz>
  - コメント: はじめは基本的だが2巻では物理との関係が強くなり、最後は本当にとんでもなく高いレベルまで連れていかれる。Iだけ読んで「ちろい」とか思っているはいけない。後半物理ネタが増えてくることもあり、私にとってはとても楽しい。具体例を通した前半の丁寧さ、後半の極めて高い視点と本当にためになる本でぜひ読んでほしい。
- [277] 『連続群論入門』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/gulwg3d>
  - コメント: 未読だがずっと気にはなっている。物理の人が Lie 群を勉強するのによい本との専らの噂。数学の人から見ても具体例でたくさん計算されていてなかなかよいとの話がある。
- [133] 『リー群と表現論』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zdueu2o>
  - あまりきちんと読んでいない。分厚いがむしろ色々書いてあって楽しい。東大数理四年のゼミで使われるくらいにしっかりした本。学部で学ぶ数学を総動員している本だが、これは著者達が表現論の広がりを知ってほしいためにわざとなるべくたくさんのことを書いているだけなので、細かいところは気にせず「こんな数学も関係してくるのか」と様々な数学が交錯する様子を楽しむとい

い. 眺めているだけでも楽しい本だ.

- [190, 191] 『連続群論 上下』
  - 上巻 Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zekra73>, 下巻 Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zqg9v6p>
  - コメント: 位相群に関する名著として名高い.

#### 0.2.2.4.5 量子力学・量子統計・場の量子論の数理

- [25] 『ヒルベルト空間と量子力学 改訂増補版』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hccf47w>
  - コメント: 旧版から 60 ページほど増えている. 私自身は『量子力学の数学的構造』で勉強したのでこちらは読んでいない. いつも通り議論が丁寧だ. 旧版で削った分を新たに盛り込んだと新井先生から伺った. 閉作用素に関する記述も大分詳しくしたそうだ.
- [17, 18] 『量子力学の数学的構造 I, II』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/ksnfh69>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/gp8wzck>
  - [18] へのコメント: Hilbert 空間の基礎からはじめて非有界作用素, 自己共役作用素, スペクトル分解まで議論する. 数学的な議論は非常に丁寧だが, これで量子力学が分かるようになるわけではない. 関数解析入門にも使えるが Banach 空間論はほとんど触れられていないので本当に入門の入門くらいにしか使えない. Banach 空間は続編の『量子現象の数理』も合わせれば多少は補えるがそれならはじめてから関数解析の本を読んだ方がいい. 量子力学への応用に特化しているので非有界作用素の話が中心になるが, 必ずしも一般の数学でその作用素論をよく使うわけではない. 非有界作用素の議論はかなり面倒なのでその辺を使わない人にはあまりお勧めしない. 一般の数学向け用途には日合・柳の『ヒルベルト空間と線型作用素』[97] がいい. こちらは関数解析 (Banach

空間論) もはじめにすっきりまとまっているので、その意味でもお勧めできる。この本でのスペクトル定理の初等的な議論と日合-柳の関数解析の諸定理を駆使した証明は見比べると楽しい。

- [17] へのコメント: I で議論した内容を受け、量子力学の原理的な部分を数学的に定式化し、量子多体系の数理への準備としてテンソル積と Fock 空間を議論する。これも勉強したからといって物理が分かるようになるわけではない。Fock 空間の部分は他の新井先生の本に任せてしまって飛ばしても問題ない。
- [21] 『量子現象の数理』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/olnudbs>
  - コメント: 『量子力学の数学的構造』の続編として主に作用素論周辺で様々な話題を議論している。順に観測の理論、作用素の自己共役性、正準交換関係、対称性の議論、摂動論と固有値の安定性、スペクトル理論、散乱理論、量子力学での経路積分 (汎関数積分)、超対称的量子力学だ。それぞれ非常に丁寧に議論されているので数理物理のこの分野の学生は必携。経験上、この本で書かれている程度のことがかかっていたら、論文もかなり読みこなせるだろう。
- [24] 『量子数理物理学における汎関数積分法』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zbk76qb>
  - コメント: 経路積分 (汎関数積分) の数理について書かれた本。あくまで数学の本。『量子力学の数学的構造』を読めるくらいのはほしい。これだけでは研究水準にはいかないが [154] を読む前哨戦くらいにはなる。上掲書を読むにはもう少し確率論・確率過程論自体の知識がいるがそれでもワンクッションとして役には立つ。[19, 20] とも重なる部分がありその分はさらっと流せばよい。確率解析入門に使える部分もある。
- [23] 『量子統計力学の数理』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hcv3jwh>

- コメント: 量子統計用の作用素環の基礎知識からはじめ, 多体系の基礎や理想気体や自由 Bose 気体の話が展開される. 有界領域内での議論とそこからの熱力学的極限も自由 Bose 気体に対して丁寧に議論されている. 自由 Bose だけで何が嬉しいのかという話もあるかもしれないが, この場合の BEC が議論されているのでそこは参考になる. 普通の物理の文献を読む上ではもちろん, 数学的にきちんと議論すると地獄のような思いをするにはうってつけの題材とも言える. Araki-Woods の有名な論文 [27] を読む上でも役に立つ. 量子系での対称性の自発的破れの議論がある. 作用素環としては本当に入門レベルで, そちらの勉強にはあまり使えない. それならむしろ [42, 43] を読んだ方がいい.
- [19, 20] 『フォック空間と量子場 上, 下』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/hykydmp>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/gltyprc>
  - コメント: 場の量子論と量子統計の基礎となる Fock 空間について詳説されている. 非常に丁寧というか, おそらくこれ以上丁寧な本はどの言語の本であっても存在しないので, これでわからないならどの本を読んでもわからない. この分野で研究するなら常に手元に置いておいていい本.
- [42, 43] 『Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/gqzfxny>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/hu58dce>
  - [42] へのコメント: 作用素環を量子統計力学に应用するときが一番最初に参照すべき本であり, 論文でも必ず引用されるこの分野の聖典. 関数解析の初等的な知識は必要だが作用素環自体は基本から議論されている. 純粋な作用素環の本としては必要な記述がなさすぎるので, 数学として作用素環を学ぼうという人が読む本ではない. 直積分や半群理論など数理物理への応用にとって必要な話題は一通り載っている. 必要なところだけ適当に抜き出して

勉強するのがいい。それでも少なくとも富田-竹崎理論までは完全にしよう。半群も必要になったところでかっちりやることになるだろう。

- [43] へのコメント: 前半の Fock 空間のところは新井先生の本でカバーしよう。新井先生の本に書いていない部分もあるのでそこだけさうようにすると勉強しやすい。KMS の話はでてきたときにそこだけやっていけばいいだろう。安定性, 摂動論の部分は Dereziński-Jaksic-Pillet の論文を読むといい。非有界摂動への大幅な拡張が書かれている。6 章の連続系は難し過ぎて発展させられていないところであり, これを読むなら早く興味あるところの論文を読んだ方がいい。
- [47] 『Quantum Systems and Resolvent Algebras』
  - arXiv へのリンク: <http://arxiv.org/abs/1306.0860>
  - コメント: 研究に使いたいので再度読み込み直したい。特に非有界作用素が基本になる boson の解析では Weyl algebra を使った定式化が基本になる。これは非有界作用素を指数の肩に載せて有界化する手法だが, この論文ではレゾルベントで有界化している。作用素環の物理への応用という面ではやはり表現論という視点がとても大事で, 新たな武器になってくれるかもしれないと期待している。
- [147] 『The Stability of Matter in Quantum Mechanics』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/oaupaj>
  - コメント: 物質の安定性といつつ, 設定を見る限りこの本では原子核の安定を議論している模様。もちろん非相対論的な場の理論・量子統計を基礎にした一般の物質の安定性を議論する上でも参考にはなるだろう。予備知識としては Lebesgue 積分が使えればいだけなのだが, 不等式でゴリ押ししていくための強靱な腕力が必要だ。簡単どころは Dyson-Lenard にはじまり Lieb のグループが片付けてしまっているので参入するのは大変だが, 量

子力学のはじまりの地の一つ, 原子の安定性にはじまる 由緒正しい問題でもあり, しっかり学びたい分野ではある.

- [148] 『The Mathematics of the Bose Gas and its Condensation (Oberwolfach Seminars)』
  - arXiv へのリンク: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0610117>
  - コメント: BEC の数理物理学を学ぶならこれ. 非単連結領域での Poincare の不等式など, 物理向けにカリカリにカスタマイズされた内容がある. 最先端の研究の話なので生半可な人間に読める内容ではない. しかし私個人としてはただひたすらに興味を惹かれる内容で, やはりいつかは読破したい.
- [16] 『場の量子論と統計力学』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hdce8t6>
  - コメント: 相対論的場の量子論, 特に 2-3 次元時空の  $\phi^4$  の議論に詳しい. 必要な範囲で Ising モデルの話題もあるが, あくまで構成的場の量子論に必要な範囲での話しか書いていない. 物理向けの Ising の話は [90] を読もう. これは私も査読に参加した本で印象深い. この本の原-田崎本も可積分系あたりに関わる Ising の話は全くない. 構成的場の量子論や物理色が極めて強い Ising の研究にとって, 可積分性を持ってしまう変に対称性があるようなモデルは物理的な普遍性が低く, (この方面の人達にとっては) 興味が薄いからだ. 前半は多変数関数論や超関数論なども駆使する一般的場の量子論の話もあるが, 適当に読み飛ばしていい. そもそも 2015 年現在でこの本を読む意義がどの程度あるかも疑問だが.
- [154] 『Feynman-Kac-Type Theorems and Gibbs Measures on Path Space: With Applications to Rigorous Quantum Field Theory』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/z6d6zqc>
  - コメント: 非相対論的な場の量子論を経路積分 (汎関数積分) で議論した本. この本が読みこなせれば確率論を使った非相対論的

な場の理論で最前線に立てる。最新の動向をかなり反映しているが、粒子が相対論になった場合や粒子が多体系の場合、または Nelson モデルの赤外発散時の基底状態の存在問題などは最新の論文にあたっていく必要がある。確率論に対して相当に高いレベルの素養が要求されていて、簡単に読みこなせる本ではない。

- [36] 『Operator Algebraic Methods in Quantum Field Theory』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zejagz4>
  - コメント: 学生時代に東大数理の河東泰之先生からお勧めされた本。比較的最近の作用素環の代数的場の量子論への応用に関して程よくまとまった本ということ。多少読んだがかなり難しかった。富田-竹崎理論程度の作用素環の基礎は仮定されている。後半、いま正に研究に進んでいる共形場の話などもある。この方面の入門にはいいと思う。

#### 0.2.2.4.6 数学・物理エッセイなど雑多な書籍・副読本

- [77] 『数学者の視点』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zkrytkg>
  - コメント: <http://wp.me/p4PcgX-9V> に書評を書いた。スーパー面白いのでとにかく買って読もう。学部1年のときにこの本を読んで数学への憧れを深めた。私の幾何への憧れもこの深谷賢治先生への憧れから来ている。
- [232-234] 『数学まなびはじめ』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/z3cpsxd>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/o4oj8rk>, Amazon へのリンク 3: <http://tinyurl.com/jkknlo4>
  - コメント: 問答無用で面白いので早く買って読むべき。ブログに何人かの人に関する書評というか感想を書いているので、興味があればそちらを見てほしい。



- [215] 『無限からの光芒—ポーランド学派の数学者たち』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zc4avpv>
  - コメント: 文句なしで面白い. 個人的に院で数学に行ったことに関して深い影響を与えている. 関数解析が好きなら確実にはまる. 作用素環の重鎮, 竹崎正道先生も絶賛しているレベルなので, とりあえず買って読んでおくべき.
- [258] 『たかが数学, されど数学』
  - コメント: 山形大数学科の数学エッセイコンテストで入賞していた作品. 理学部や数学科の HP 改訂でどこにあるのかわからなくなってしまった. 数学エッセイの過去ページも見当たらない. 人類の損失レベルの素敵な文章なのでどうかしてほしい. そのうち山形大学の数学科に問い合わせたいと思っている.
- [134] 『新・数学の学び方』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/poysx3d>
  - コメント: 学部1年のとき, もとの『数学の学び方』を読んだ. 「こんな風にやるのか」と思って, 素直に実践していった. 今思うと全然書かれている風にできていなかったが, それでも小平スタイルの勉強法に学部1年で触れられたのはよかったと思っている. 願わくば中高生のときに知りたかった. そしてそんな気持ちがあったからこそ受験関係のプロジェクトをはじめた.
- [106] 『志学数学 -研究の諸段階 発表の工夫』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jaubntl>
  - コメント: 数学会の会誌で河東先生が「とりあえず買って読むべき」と書いたほどいい本. 数学者の卵への思いやり溢れる穏やかな筆致で話が進んでいく. 一般の人が「数学者はこんなことを考えながらこんなことをしているのか」という感じで読んでいっても十二分に楽しめるだろう.
- [299] 『数学の道しるべ—研究者の道とは何か』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hyzoToz>

- 系統としては『数学まなびはじめ』 [232–234] と同じ。個人的には『数学まなびはじめ』の方が好きだが、こちらも十分楽しい。数学者が何を考えてどんなことをしているか知りたいならぜひ読んでみてほしい。
- [235] 『物理の道しるべ—研究者の道とは何か』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jhv9cnk>
  - もちろん [299] の物理版。
- [287] 『数学ガール』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/glco42e>
  - コメント: 中高生でも読みやすいと評判。ファンも多いし、外国語への翻訳すらある。これを彼氏からプレゼントされて、算数・数学の勉強をはじめたという成人女性もいたりする。シリーズなので1冊読んでみて合うようならいろいろ眺めるといいだろう。私はといえば、「こんな学生生活なかったな?」という感じで、小説部分だけ眺めて数学部分をほとんど読み飛ばして、数学的内容はほとんど全く頭に入っていない。
- [123] 『多面体の折紙 正多面体・準正多面体およびその双対』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zd6q99z>
  - コメント: 未読。面白そうなのでメモ。
- [181] 『東大数理ビデオアーカイブス』
  - 東大ビデオアーカイブスへのリンク: <http://tinyurl.com/j353cpx>
  - コメント: 2015 時点で京大 RIMS 教授の小澤先生のアロハ装の真相について、当人の発言動画:3:40 くらいからご自身で理由を語っている。東大数理ビデオアーカイブス <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/video/> 自体面白い講義が揃っているので、興味がある向きはぜひいろいろ見てほしい。
- [280] 『量子の道草—方程式のある風景』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zq9t9zm>

- コメント: 方程式を絵画のように楽しんでみようという企画. 目のつけどころが面白いし, 私もちっとやってみたい. 著者の妙に自慢気な文章スタイルが鼻につく人もいるだろう. 私もたまにいらっとする.
- [72] 『だれが原子をみたか』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zxe6p6u>
  - コメント: 江沢節とでも言うべき異常なくらい力強い文章で原子を見ることを通じた物理での世界との向き合い方を考える本. 楽しい.
- [182] 『博士の愛した数式』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/jrw84kl>
  - 数学会の会誌の書評で「自分がやっている数学という営みが本当に素晴らしいものなのだ改めて気付かせてくれた」とあったくらい, 数学者の心をも掴むよい本. 超お勧め.
- [65] 『微積分名作ギャラリー—ニュートンからルベークまで』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hwcyuof>
  - コメント: 中身はゴリゴリの数学ではあるが, 有名だがあまり詳しくは扱わない色々な例・反例を紹介していたりするので, 副読本として非常に勉強になる. Weierstrass の連続だがいたるところ微分できない関数の構成と証明が書かれていたりする. 反例の構成や証明は大事なので, そういうところでも役に立つ楽しい本.
- [91] 『不等式』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/huku9l4>
  - コメント: 数学関係者向け. 色々な不等式を扱った本. 離散的な和から始まり, 積分不等式なども議論する. 最近の論文にも引用されることがある程有名な本で, 持っているだけでも幸せな気分になれる. 必ずしも読み込む必要はないが, ちょっと変わった観点の数学入門という感じで数学を楽しみたい人にはいいだろう.
- [4] 『天書の証明』

- Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/h36ve8k>
- コメント: 未読. 有名ではある. 読んでみたい.
- [256] 『x の x 乗の話』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hqf6q45>
  - コメント: あっさりしているので何となく何が問題で どんな世界が展開されていくかを知るのには都合がよく, そういう読み方をするなら非常に面白い. もちろん, かっちり読むのにはつらいがそういう本ではない.
- [128] 『佐藤幹夫の数学』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hylx72j>
  - コメント: 佐藤幹夫に関する色々な文章が載っている. 単純な数学の話ばかりではなく, 指導教官と (元) 学生とのほのぼのとした数学的な対話みたいな文章もあって楽しい.
- [124] 『白と黒のとびら オートマトンと形式言語をめぐる冒険』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/gsgk4tz>
  - コメント: 小説だが文句なく面白い. オートマトンを迷路形式で解説している. まさにとりあえず買って読めというレベル.
- [132] 『顔をなくした数学者-数学つれづれ』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/z3m5dzk>
  - コメント: 小林昭七先生の遺構となったエッセイ. 完全版を読んできたかった. これまた面白い [232, 233, 『数学まなびはじめ』] の昭七先生の記事の感想を書いたら弟の小林久志先生からご連絡を頂いて驚いたことがある. 昭七先生が亡くなったのに合わせて昭七先生が執筆された文献を整理していて, 検索したら『数学まなびはじめ』の私の昭七先生の感想記事を見つけたとかいう経緯だ. すぐに日本には戻れないので取り急ぎ記事のコピーを読みたいというのでお送りしたところ, とても喜んで頂けたのでほっこりした. 何でも情報は出しておくものだと思った一件.
- [257] 『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』

- Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hh4c7hp>
- コメント: RIMS こと数理解析研究所に関する本. 数学者の息吹を感じる. とにかく面白い.
- [136] 『理科年表』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hahdqmq>
  - コメント: 毎年更新するのめんどいのでここでは平成 25 年度版を紹介しているが, 新たに買うなら最新版を買おう. 私は何となく持っているが格好よさそうという理由だけで高校三年のときに購入した記憶がある. パラパラと眺めているだけでも楽しい本だ. 具体的なデータに親しみ, 数値への感覚を持っておくのはとても大切なので, 暇なときに何となく眺めてみる癖をつけてもいくらい. 楽しくデータを見て想像を膨らませてほしい.
- [249] 『数学:物理を学び楽しむために』
  - 文献へのリンク: <http://tinyurl.com/ybwrkgw>
  - コメント: 随時追記・改訂されている数学の教科書. 例えば物理数学のシリーズも多くあるが, 1 人の著者が責任を持ってきちんと統一したスタイルで書くべきだという信念に沿って執筆されている.
- [209] 『炭素文明論 「元素の王者」が歴史を動かす』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hnze4dc>
  - コメント: タイトル通り有機化学に関する本だが抜群に面白い. こんなタイプの科学史の本が増えると, 理工系の生徒・学生がもっと楽しく世界史や地理を勉強しやすくなる. 私もこういうのを書いてみたい. 死ぬ程時間かかるが, とりあえずは既にあるよい本はどんどん紹介したい.
- [253] 『数理工学への誘い』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/lohj6nw>
  - コメント: 数学を工学的にどう使っていくかを説明している. いわゆるバリバリの物理系の話ではなく, 「こんなところにも使わ

れているのか」という系統の話題が載っている。「数学なんてどこで使うんだ」という人は読んでみるといいだろう。

- [88] 『オリガミクス 幾何図形折り紙』『オリガミクス 紙を折ったら、数学が見えた』
  - Amazon へのリンク 1: <http://tinyurl.com/hxx4r8b>, Amazon へのリンク 2: <http://tinyurl.com/zgy6t3q>
  - 折り紙で数学するという不思議な毛色の本。この本ではないが、折り紙と作図問題という研究もあり、動画などで紹介していきたいと思っている。
- [220, 221] 『暗号解読 上下』
  - Amazon へのリンク 上: <http://tinyurl.com/hgld6h9>, Amazon へのリンク 下: <http://tinyurl.com/gph68bg>
  - コメント: 文句なしに面白い。ノンフィクションで暗号の歴史を追いかけながら、その背後にある数学にも迫っていく。これに限らずサイモン=シンの本はどれも面白い。
- [189] 『The Comprehensive L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Symbol List』
  - PDF へのリンク: <http://tug.ctan.org/info/symbols/comprehensive/symbols-a4.pdf>
  - コメント: T<sub>E</sub>X の記号表。記号について調べものをしたときにはぜひ。眺めているだけでも楽しい。
- [12] 『浜村渚の計算ノート』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/j657jfg>
  - コメント: 数学をネタにした推理小説。数学の扱いが悪いから数学者が反乱を起こした、というような話で数学サイドが悪者扱いになっているとも言える。いろいろな意味でときどき悲しくなるが、そうは思わず楽しんでいる人も多いようだ。数学をネタにした小説だし推薦しておく。
- [293] 『数学で犯罪を解決する』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/huummak>

- コメント: アメリカの刑事ドラマ Numbers で出てきた犯罪捜査に使われた数学を紹介している. 単純な数学ばかりではなくセキュリティや暗号などの諸科学と関係の深い数学も紹介している. 数学について深い解説があるというより数学と関わる広い世界を紹介しているような本. 役に立つ数学に興味があるならお勧め.
- [187] 『青の数学』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/hagcm64>
  - コメント: 数学が好きな高校生を集めて数学の決闘をしたりするという, ちょっと不思議なコミュニティを作っている天才数学者がいて, そこに参加している高校生達が描くストーリーを語る小説. 最初はどんなもんかと思っていたらどんどん引き込まれた. 数学それ自体に対する記述はほとんどない. むしろ数学に挑む人々の心のありようを描いた作品. 決闘というと物騒だが, 相手を負かすことに力を注ぐよくあるタイプの間人もいれば, 相手は関係なくただ数学と向き合う人間もいれば, 「数学をこんなにも愛している人がたくさんいる」と思いながら決闘に挑む者もいる. 数学の細かい話が出てくるわけではないので, 数学を好きな人達の交流みたいところに興味がある人には特にお勧め.
- [279] 『数学女子』
  - Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/zyzpedu>
  - コメント: 数学者が見ても楽しい漫画. 作者は実際に数学科の学生だった人で, 鹿児島大とその教官陣が本当にモデルになっているとのこと. 飯高先生が愛してやまなすぎて雑誌「数学セミナー」で著者と対談したくらい. 確かに「数学科あるある」濃度は極めて高く面白い.

#### 0.2.2.4.7 その他

私のサイトにはそれ以外の参考文献についてもまとめています。例えばあなたが代数や幾何をやってみたいなら、それについてもコメントつきで本を紹介してるのでぜひ見てみてください。

- <http://tinyurl.com/zbqv9jh>

いわゆる代数・幾何・解析だけじゃなくてももう少し細かく案内してるし、物理の本もいくつか紹介してます。

#### 0.2.2.5 (私とは無関係な) 数学の勉強に関する既存サービス

大学数学に関するリアルの教室が二つあります。そちらもご案内しておきます。どちらも東京です。和は大阪にも展開しているようです。

- [大人のための数学教室 和](#)
- [数学工房](#)

これは私と全く関係ないところで、両方とも有料です。評判は悪くないみたいなのでとりあえずご紹介、という感じです。リアルでじっくり質問したいといったご要望がある方にはいいでしょう。費用はだいたい 10,000-15,000 円/月くらいようです。東京以外にもあるかもしれませんが調べられてないです。

それ以外では「数学カフェ」などの勉強会をやっているところがあり、そうした勉強会やイベントに参加するのも一手でしょう。例えば次のところはちょっとやりとりしたことがあります。その他には Skype を使ってオンラインセミナーをしている人達がいたりもします。

- <https://twitter.com/sms20120113>

以前、東大と京大の学生がメインの参加者だった Skype セミナーに参加



したことがありますし、いまは zoom を使ったオンライン勉強会を主催して  
もいます。オンラインならいろいろやりようもあるし、私にも多少のノウハ  
ウがあるのでそれをご案内することもできます。

### 0.2.2.6 記号の紹介, そして読み方

記号の読み方がわからないとか花文字はどれが何なのかわからないという  
コメントを頂きました。いくつか説明しておきます。「あれもわからない!  
みたいなのがあったら、画像などを添えてメールで送ってください。こちら  
にも追記します。

#### 0.2.2.6.1 ギリシャ文字一覧表

読み方	大文字	小文字	変体文字
アルファ	$A$	$\alpha$	
ベータ	$B$	$\beta$	
ガンマ	$\Gamma$	$\gamma$	
デルタ	$\Delta$	$\delta$	
イプシロン, エプシロン	$E$	$\epsilon$	$\varepsilon$
ゼータ	$Z$	$\zeta$	
イータ, エータ	$H$	$\eta$	
シータ, テータ	$\Theta$	$\theta$	$\vartheta$
イオタ	$I$	$\iota$	
カッパ	$K$	$\kappa$	
ラムダ	$\Lambda$	$\lambda$	
ミュー	$M$	$\mu$	
ニュー	$N$	$\nu$	
クシー, グザイ	$\Xi$	$\xi$	
オミクロン	$O$	$o$	

読み方	大文字	小文字	変体文字
パイ	$\Pi$	$\pi$	$\varpi$
ロー	$P$	$\rho$	$\varrho$
シグマ	$\Sigma$	$\sigma$	$\varsigma$
タウ	$T$	$\tau$	
ユブシロン	$\Upsilon$	$\upsilon$	
ファイ, フィー	$\Phi$	$\phi$	$\varphi$
カイ	$X$	$\chi$	
プサイ, プシー	$\Psi$	$\psi$	
オメガ	$\Omega$	$\omega$	

0.2.2.6.2 ドイツ文字一覧表: T<sub>E</sub>X コマンドは `mathfrac`

読み方	大文字	小文字	英語で対応する文字
アー	$\mathfrak{A}$	$\mathfrak{a}$	a
ベー	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{b}$	b
ツェー	$\mathfrak{C}$	$\mathfrak{c}$	c
デー	$\mathfrak{D}$	$\mathfrak{d}$	d
エー	$\mathfrak{E}$	$\mathfrak{e}$	e
エフ	$\mathfrak{F}$	$\mathfrak{f}$	f
ゲー	$\mathfrak{G}$	$\mathfrak{g}$	g
ハー	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{h}$	h
イー	$\mathfrak{I}$	$\mathfrak{i}$	i
ヨット, ヤット	$\mathfrak{J}$	$\mathfrak{j}$	j
カー	$\mathfrak{K}$	$\mathfrak{k}$	k
エル	$\mathfrak{L}$	$\mathfrak{l}$	l
エム	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{m}$	m
エヌ	$\mathfrak{N}$	$\mathfrak{n}$	n

読み方	大文字	小文字	英語で対応する文字
オー	$\mathcal{O}$	$\mathcal{o}$	o
ペー	$\mathcal{P}$	$\mathcal{p}$	p
クー	$\mathcal{Q}$	$\mathcal{q}$	q
エール, エア	$\mathcal{R}$	$\mathcal{r}$	r
エス	$\mathcal{S}$	$\mathcal{s}$	s
テー	$\mathcal{T}$	$\mathcal{t}$	t
ウー	$\mathcal{U}$	$\mathcal{u}$	u
ファウ	$\mathcal{V}$	$\mathcal{v}$	v
ヴェー	$\mathcal{W}$	$\mathcal{w}$	w
イクス	$\mathcal{X}$	$\mathcal{x}$	x
エプシロン	$\mathcal{Y}$	$\mathcal{y}$	y
ツェット	$\mathcal{Z}$	$\mathcal{z}$	z

### 0.2.2.6.3 花文字一覧表: T<sub>E</sub>X コマンドは mathscr

大文字	英語で対応する文字
$\mathcal{A}$	A
$\mathcal{B}$	B
$\mathcal{C}$	C
$\mathcal{D}$	D
$\mathcal{E}$	E
$\mathcal{F}$	F
$\mathcal{G}$	G
$\mathcal{H}$	H
$\mathcal{I}$	I
$\mathcal{J}$	J
$\mathcal{K}$	K

大文字	英語で対応する文字
$\mathcal{L}$	L
$\mathcal{M}$	M
$\mathcal{N}$	N
$\mathcal{O}$	O
$\mathcal{P}$	P
$\mathcal{Q}$	Q
$\mathcal{R}$	R
$\mathcal{S}$	S
$\mathcal{T}$	T
$\mathcal{U}$	U
$\mathcal{V}$	V
$\mathcal{W}$	W
$\mathcal{X}$	X
$\mathcal{Y}$	Y
$\mathcal{Z}$	Z

0.2.2.6.4 筆記体文字一覧表: T<sub>E</sub>X コマンドは `mathcal`

大文字	英語で対応する文字
$\mathcal{A}$	A
$\mathcal{B}$	B
$\mathcal{C}$	C
$\mathcal{D}$	D
$\mathcal{E}$	E
$\mathcal{F}$	F
$\mathcal{G}$	G
$\mathcal{H}$	H

---

大文字	英語で対応する文字
$\mathcal{I}$	I
$\mathcal{J}$	J
$\mathcal{K}$	K
$\mathcal{L}$	L
$\mathcal{M}$	M
$\mathcal{N}$	N
$\mathcal{O}$	O
$\mathcal{P}$	P
$\mathcal{Q}$	Q
$\mathcal{R}$	R
$\mathcal{S}$	S
$\mathcal{T}$	T
$\mathcal{U}$	U
$\mathcal{V}$	V
$\mathcal{W}$	W
$\mathcal{X}$	X
$\mathcal{Y}$	Y
$\mathcal{Z}$	Z

---

### 0.2.2.7 勉強の仕方

最後に勉強の仕方についても説明しておきます。まえに Kindle で受験生向けに本 [227] を出したことがあります。現代数学の勉強となるとちょっとカスタマイズし直さないといけません。とはいえ、かなりの部分そのまま参考になるはずですし、フィールズ賞受賞者である小平邦彦先生の勉強法や、私が早稲田や東大で叩き込まれた勉強法についても紹介しています。Amazon へのリンクも貼っておくのでご興味ある方はぜひ読んでみてください。

- <http://tinyurl.com/np3nttq>

さっき紹介した本の中にも数学者による数学の勉強の仕方に関する本があるので、それも改めて引用しておきます。

- [134, 『新・数学の学び方』], Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/poysx3d>
- [106, 『志学数学 - 研究の諸段階 発表の工夫』], Amazon へのリンク: <http://tinyurl.com/juubnt1>

ここでは実際に東大で私が叩き込まれた方法を改めてご案内しておきます。といっても私の指導教官、河東泰之先生のページ紹介です。

- <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~yasuyuki/sem.htm>

ここに書いてあること、実際に実行しています。ただ、私だけかもしれませんが、次の箇所に関して私は対応しきれないことがありました。

このようにして、何も見ないでセミナーで発表できるようになります。(私のセミナーでは、本、ノート、メモ等を見ることは一切禁止です。)これは丸暗記するということとは全く違います。数学の論理は有機的につながっていて、定義でも、仮定でも、補題の順番でも、何か理由があってそうなっているんですから、全体の構造を理解していれば、正しく再現できるようになります。

私も修士は河東研だったので実際にどうだったのかをご紹介します。上に書いたように、本当にその通りにやっていました。ただセミナーで板書していて計算ミスしたりしたときに「どこがおかしいんだ?」とノートと板書を見比べたりしたことはあります。怒られはしませんでした。普段は本当に何も見ないでセミナーしていましたし、大目に見てくれたのだらうと思います。

間違い探しという文脈でもあり、人前で話す練習でもあるので、きちんと

取り組んでいる姿勢があれば問題なかったのだろうと思っています。

その他「何かもう一つ補題があった気がするんですが、ど忘れしてすぐに思い出せないのだったん飛ばして次の命題に行きます」といって、あとで思い出して「さっき飛ばした補題を思い出しました。むしろ今から使うので証明します」とやったこともあります。

書いていて学生の頃を思い出して脂汗が出てきました。ただ、卒業後に数学・物理系の専門誌である『数理科学』か『数学セミナー』で河東先生のインタビュー記事が出ていたとき、「ネットに上がってるあの勉強法ページにあるようなこと、本当にやってるんですか？」みたいな話題があがっていて、河東先生が「今までの学生はちゃんとあの通りできています」と仰っていたので、上のような体たらくでも「ちゃんとできてた」扱いにしてくれてはいるようです。

これを何度も、自然にすらすらと書き出せるようになるまで繰り返します。普通、二回や三回の繰り返しではできるようにならないでしょう。さらにそれができるようになったとしましょう。今度は、紙に書き出すかわりに頭の中だけで考えてみます。「定義は何か」、「定理の仮定は何か」、「証明のポイントはどこか」、といったことを考えてみます。複雑な式変形などは頭の中だけではできないでしょうが、全体の流れや方針、ポイントは頭の中だけで再現できるものです。できなければ、それはよくわかっていないということですから、本やノートを見て復習し、ちゃんとできるようになるまで繰り返します。

実際、セミナーでやる分をいったん細部まで埋めきったあと、頭の中に完全に内容をロードするために10回以上はくり返しました。そのくらいやれば計算の細部まで頭の中でやりきれます。ポイントをおさえているので、概要だけ掴んでおけばあとの詳細は埋められるくらいに腕力を鍛えたといってもいいでしょう。解析ではどうしてもハードな不等式評価が避けられない上、そのハードアナリシスコそ本道という部分もあるので、毎日昼食後には1時間ほど、散歩しながら頭の中で次回セミナー分の計算の細部まで埋めつくす

脳内セミナーをひたすらにやっていました。

これを毎回やったおかげで、細部まで埋めきること、使った技術を頭だけじゃなくて腕に馴染ませることもできましたし、そのくらい数学に没頭することで頭の中に数学世界を形作っていくこともできるようになっていました。

これをやるのは大変です。しかしやった分だけの見返りはあるのであなたもぜひやってほしいです。

これでもまだ準備は終わりではありません。セミナーの時間配分も考える必要があります。授業でも、学会発表でも、やるべき内容が先にあり、時間が決まっているんですから、ちゃんとそれに合わせて話ができなくてはいけません。セミナーはその練習でもあります。(日本では、教員でもそういうことのできない人が少なからずいますが、プロとして恥ずかしいことです。そういうのをまねしてはいけません)。自分で、「今回の発表内容はこれだ」という計画を立て、時間をどういうふうにするか決めなくてはいけません。「この証明に 20 分、ここの説明に 15 分」というふうに自分できちんと計画を立てます。そして途中で時計を見ながら、早すぎる/遅すぎるなどの調整をしていって、最後にぴったり終わるように持っていきます。何も計画なしにだらだらと進んで行って時間が来たところでおしまい、というようなことでは、時間を無駄にしているだけです。このためにももちろん、完全に理解しておくことが前提となります。「何を聞いても即答できる」という状態ならば、いくら派手にとぼしても O.K. です。

私の場合、自分の学年は自分 1 人で毎週マンツーマンのセミナーをしていました。世界トップクラスの教官のマンツーマン指導というのはこれ以上ない贅沢といえば贅沢です。しかし毎回 2 時間分の準備をするのがきつくて、準備があまりにも大変なので、毎週セミナーする代わりに 1 時間から 1 時間半くらいでいいか？ と聞いて毎回だいたいそのくらいに収まるくらいのボリュームでやっていました。たまに 1 時間半くらいで組んでいたのが一時



間で終わったりして「早すぎる、何でだ!？」とかパニックになったこともありました。伸びるときももちろんあって、そのたび何度となく反省しました。

以上のような準備をきちんとするには当然、膨大な時間がかかります。1回の発表のために50時間くらいかかるのは、何も不思議ではないし、100時間かかっても驚きはしません。実験系統の院生は、朝から晩まで(あるいは晩から朝まで)実験しているんですから、数学だってたっぷり時間をかけないと身につかないのは当然です。

実際に私は1回の発表で50時間は準備に使っていたでしょう。セミナーでの基礎知識の勉強以外に研究のための勉強もあれば、次々回の予習もあります。毎週その週のセミナーだけの勉強しているわけにもいかないので100時間使ったことはないと思います。

しかし学部四年から大学院は基本的に朝起きてから夜寝るまでずっと勉強でした。研究していた、と言えれば格好いいもののまがりなりにも研究に向けた勉強、特に論文を読みはじめたのは修士1年の夏で、研究をやりはじめられたのも修士二年の夏からです。就活もあったのでその分数学や物理の勉強時間は削られつつ、それ以外の時間は完全に数学と物理に突っ込んでました。河東先生のページの内容は本当に実践されていて、そして本当に身になることはお伝えしときます。身近に勉強法で困っている方、特に中高生や大学生がいたらぜひ教えてあげてください。

- <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~yasuyuki/sem.htm>

社会人が片手間に趣味で数学をやっていくときには工夫が必要です。その辺もご案内していこうとは思いますが、とりあえずここでは一つ。

上でも少し書いた脳内セミナーはお勧めです。通勤中などの少しの空き時間に、前日やったこと・そこで得た数学世界を何も見ないで頭の中で構築しきれるか、そういう感じで取り組むのがお勧めです。

「あれ、ここって何だったっけ?」という部分があれば、そこは理解の勘所です。つまるところはわかってなかったところでもありますが、むしろ誰も

がハマる落とし穴とか理解のための急所であることも多いのです。通勤時間中、そこだけずっと考えてもいいし、メモしておいて家に帰ってからじっくり復習することにしてもいいでしょう。

何にせよ、脳内セミナーは超お勧めです。ぜひあなたの勉強に取り入れてください。頭の中で数学できるようになればいつでもどこでも遊べるようになります。簡単な例を作ってみることも大事です。この遊び方もいろいろあるので、追々ご紹介していきましょう。

### 0.2.2.8 解析学を基礎からきっちり: 現代数学探険隊

ここまでいろいろな本を紹介してきました。たくさんあると逆に何がいいのかよくわからなくなってくる欠点があります。私の場合、例えばあまり興味のない Android のスマホは選びきれず、考えるのさえ面倒になってきます。あなたも何かしら似た経験があるでしょう。

そこで、集合・位相からはじめてルベーグ積分・関数解析・関数論・ベクトル解析・微分方程式論など、学部レベルの解析学の基礎を総ざらいするコンテンツを作りました。

- [現代数学探険隊 PDF 購入案内ページ](#)

これは全 13 章で 3500 ページ以上あります。単に解析学にとどまらず、代数や幾何に関してもいろいろなところでいろいろな形で触れています。解析学を軸に数学を勉強していくためのメインに据えることもできますし、興味があるところをつまみ読みする副読本として使うこともできるように作っています。

有料教材で値段はそこそこします。しかし、何をどう読み進めていけばいいか、本と本の間のギャップをどう埋めていけばいいか、学生時代の私や友人達も苦しんできた問題を乗り越えるために、一つのストーリーに沿って数学科学部レベルの解析学をきっちり展開したコンテンツです。

最後のベクトル解析では  $\mathbb{R}^d$  上の多様体論も紹介しつつ微分形式の話もし

ていますし、幾何への導入としても使えます。代数についてもいろいろところで触れているので、もしあなたが解析学の知見をうまく使いながら代数を勉強したいと思っている場合にも役立つ内容です。

いろいろ買った方がいいがどれも読みこなせない、あなたにそんな悩みがあるなら、ぜひ検討してみてください。

### 0.2.2.9 アンケート

毎回アンケートを取っています。質問や要望がある場合もこちらにどうぞ。

- [アンケートへのリンク](#)

アンケートは匿名なので気軽にコメントしてください。直接返事してほしいことがあれば、メールなど適当な手段で連絡してください。返事は確約できませんが、適当な手段でコンテンツに反映させます。

### 0.2.2.10 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 佐藤超函数入門』. 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. 『多変数函数論』. 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] 赤堀也. 『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
- 強多重劣調和関数, 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  $\sigma$ -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  
 $\sigma$ -加法族, 3436

- $\sigma$ -コンパクト, 3332, 8163
- $\sigma$ -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, 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  
 $C^\infty$ -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 $\lambda$ 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
- チェーン形式, 8370, 8582
- チェーン類, 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, →  $\delta$  測度  
 ディラックの  $\delta$  関数, →  $\delta$  関数  
 ディラックの  $\delta$  超関数, →  $\delta$  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  
 $\delta$  測度, 3469  
 $\delta$  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  
    $\pi$ -系, 3476, 3674  
   パウリの排他律, 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  $\chi^2$  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  
 $\phi$  関係, 8121, 8122  
 $\phi$  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
- $\lambda$ -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