

6.5.1 堀田昌寛『入門 現代の量子力学』[102] メモ： 量子状態の定義

[【目次へのリンク】](#)

目次

6.5.1.1	はじめに	8588
6.5.1.2	やり取りのメモ	8589
6.5.1.3	わかりにくかった点の端的なまとめ	8591
6.5.1.4	[102]での定義の「問題」：幾何的な議論との不 整合?	8591
6.5.1.5	関数解析を基礎にした量子論の数理について	8593
6.5.1.6	作用素環の基礎	8596
6.5.1.7	作用素環による量子論の定式化のまとめ	8599
6.5.1.8	注意：純粋状態の定義と数学的問題	8599
6.5.1.9	補足：密度作用素が定義する状態を具体的にベク トル状態で書く方法	8601
6.5.1.10	有料の勉強会・家庭教師の案内	8602
6.5.1.11	アンケート	8603
6.5.1.12	節終了	8604

6.5.1.1 はじめに

上掲書に関して堀田さんとのやり取りや関連する記録します。今後複数出てくる可能性を前提に、ここでは特に量子状態に関する議論に限定して記録します。

まずは堀田さんとの Twitter でのやり取りを記録した後、その内容に関してコメントし、荒木先生の本 [28] や代数的 (場の) 量子論での記述を紹介します。堀田さんからはっきりと荒木先生の本、特に作用素環スタイルの定式化を参考にしたというコメントをもらったため、それを前提に議論します。最後にこの本を題材にした勉強会・家庭教師の提案をつけています。興味があればご連絡ください。

以下、演算子は全て作用素と呼びます。

6.5.1.2 やり取りのメモ

- 発端の URL

6.5.1.2.1 私のツイート

堀田さんの本、状態ベクトルと状態空間は定義していても、状態という概念は定義していないのでは。P48 で「直交する N 個の純粋状態」と書いた後に「密度演算子は物理的な量子状態」と書いていて、ベクトルなのか行列なのか判然としない。作用素環系市民としてはさらに気になる。

6.5.1.2.2 堀田さんからのコメント

貴重なご意見ありがとうございます。改定版を出せるときには参考にさせていただきます。まず量子状態をきちんと数学的に定義したい場合は荒木先生の量子場の数理の第 1 章をお勧めします。この本では、段階を踏んで量子状態を導入しているので、数学の方には伝わりづらいのかもしれませんが。

まず P17 で二準位系について、確率分布の集合が量子状態を定めると書きました。その具体的な内容は (2.6) 式の下にあって、任意の物理量をスピンの期待値が決めるために、それが量子状態を「定義」

しているとしました。

多準位系では、P44 の (3.17) 式の下で、「つまり量子状態は ρ で定められている」と書きました。有限個の物理量の期待値の実験からの推定値で定義された ρ は、任意の物理量 (連続無限個) の確率分布を一意的に定めるので、その実験で測られた有限個の物理量期待値も ρ も量子状態の定義に使えます。

密度演算子 ρ で量子状態は定められ、またその量子状態を固定して有限個の物理量を測定して期待値を求めれば、 ρ も再現できます。この意味で ρ と量子状態は同一視できるわけです。一旦それを認めると ρ の特殊例であるエルミートな射影演算子も密度演算子であるので、その射影演算子も量子状態と呼べます。

その密度演算子としての射影演算子は定義として純粋状態と呼ばれることになるわけです。そういう構成になっております。

なお量子状態の一つである固有状態の説明は第 2 章の P28 で済ませました。これは二準位系の話ですが、多準位系への拡張は自明だと思います。

「まず量子状態をきちんと数学的に定義したい場合は荒木先生の量子場の数理の第 1 章」は、相転移 P さんには釈迦に説法でしたね。数学的には量子状態はもう定義されているので、その物理的意味を重視して今回は教科書を書きたいなと思っていました。荒木先生の本を文献として書いておけば良かったですね。

6.5.1.2.3 最終的なコメント

荒木先生の本、たいていの人にとって読めるような本ではないと思うので、堀田さんのコメントと勉強会の案内も込めて、適当にまとめたコンテンツを用意しようと思います。

これに対して次のようなコメントが返ってきました。

ありがとうございます。数学指向の読者の方(かなりマーケットは広いかもです)には読みにくい状態かと思しますので、そのような方々をサポートして頂けると嬉しいです。相転移 P さんの準備に対応した適性な授業料で教えてあげてください。

6.5.1.3 わかりにくかった点の端的なまとめ

作用素環を使った定式化や記号はあとで書くので、必要に応じて先に読んでください。

代数的(場の)量子論 [28] では、作用素環上の状態 ψ を一般的な量子状態と定義します。状態は線型空間としての作用素環上の線型汎関数で、特に単位元 $1 \in \mathcal{A}$ に対して $1 \in \mathbb{R}$ を返す、つまり $\psi(1) = 1$ をみたく線型汎関数です。

適当な仮定や状況設定のもとで、作用素環上の状態 ψ は作用素 A に対してトレースで $\psi(A) = \text{Tr}[\rho A]$ と書けるような密度作用素 ρ を持ちます。特別な場合はベクトル Ψ で $\psi(A) = \langle \Psi, A\Psi \rangle$ と書けます。

上のコメントで「量子状態を定義する」という記述があります。それは上に書いた意味で「密度行列から定まる状態(線型汎関数)」や「ベクトルから定まる状態(線型汎関数)」です。密度行列やベクトルそれ自体は線型汎関数の意味での状態ではないので、それを状態と呼ばれてしまうと状態の定義は何なのか、という話が出て来るという話でした。

6.5.1.4 [102] での定義の「問題」：幾何的な議論との不整合？

立川裕二さんによる次のようなツイートがありました。

- ツリー 1 の URL
- ツリー 2 の URL

念のため以下で引用しておきます。リンクの張り方など一部ツイートを編

集しています。

以前、代数的量子論、そして量子論と幾何にまたがる議論の両方に携わる谷村省吾さんが代数的量子論の欠点というような話を（やはり Twitter で）していた記憶があります。幾何と絡めると何か問題・課題があるようです。私は根源的な興味関心が違っていることもあり、これを書いた時点でそちらの議論は全く追えておらず、詳しいことはわかりません。何か分かれば追記するかもしれません。

6.5.1.4.1 ツリー 1

堀田さんの量子力学の教科書が話題ですが、密度演算子から初めてヒルベルト空間は純粋状態をうまく表す方法、というふうにするんですけど、これって、制御パラメタを二つ以上持つ 1 状態系でヒルベルト空間がパラメタ空間上の非自明な line bundle になっている場合って記述できるんですかね。密度行列のバンドルは自明になっちゃうと思うので。簡単な例としては、二状態系で、パラメタを三次元の単位ベクトル n として、ハミルトニアンを $\sum_i \sigma_i n_i$ として、その基底状態だけ取ってくると、 n のなす球面でパラメタづけられた 1 状態系が出ますが、これってチャーン類が 1 なので非自明な line bundle になります。物理的には、Berry 位相だけあるような状況です。これを二状態系から出発したということを知らないで堀田さん式に解析できるのでしょうか。こういう、一状態系だけどパラメタ依存性がトポロジカルに非自明というのは、トポロジカル絶縁体/超伝導体とか SPT 相とかを基底状態だけに着目して考えるとそうなるので、重要だと思うんですね。

6.5.1.4.2 ツリー 2

もちろん、密度演算子が値を取るベクトル空間自体がパラメタ空間上で非自明というのも考えて良いのですが、その時

は構造群は $\text{Aut}(U(\text{状態数}))$ になるので、非自明さを捉えるのは $H^2(\text{パラメタ空間}, \mathbb{Z})$ に値を取るチャーン類じゃなくて $H^3(\text{パラメタ空間}, \mathbb{Z})$ に値を取る Dixmier-Douady 類というのになります。これが非自明だと、パラメタ空間上のヒルベルト空間バンドル上の密度演算子バンドルと書けないということになる、かなり変なトポロジカル不変量なんですよね、こっちの方が堀田さん式には先に出て来てしまう気がする。D-D 類が非自明になる実例は [Hsin-Kapustin-Thorngren](#) の Sec.II.B で議論されている $1+1$ 次元自由フェルミオン系の edge state を考えるとそうになっているはず。その自由フェルミオン系自体は [Abanov-Wiegmann](#) に遡るらしい。

6.5.1.5 関数解析を基礎にした量子論の数理について

6.5.1.5.1 前提

超弦理論はもちろんのこと、トポロジカル絶縁体など非相対論的な量子論でも幾何の重要性が大きくなっているようです。私は幾何と関係した物理の動きはほとんどわかっていません。ここではごく素朴に、量子力学・場の量子論が生まれた頃に出くわした問題を解決する手段として提案された、関数解析的な量子論の数理と参考文献について簡単に解説します。最近の出版事情を追い切れていないので参考文献は少し古い可能性があります。また、あくまで量子論の数理にフォーカスをあてることにして、物理的な意義については触れません。

6.5.1.5.2 概要

私の学生時代の専門は作用素論・作用素環論の場の量子論・量子統計力学への応用です。大雑把に言えば作用素論はハミルトニアンなどの具体的な作用素の解析に直接役立つ理論、作用素環は(物理として本質的にどうかはと

もかく) 量子論を数学的に解析する上で重要な作用素の全体を考えて, 量子論の数学的なセットアップそのものに役立つ理論だと思ってください.

ちなみに私の観測範囲では経路積分 (汎関数積分) は確率論で定式化されています. いくつかの見方はありますが, 私の立場から言えば, 経路積分は作用素論での具体的な解析に役立つ強力な道具です. 関数解析はこれら全ての基礎になっています.

6.5.1.5.3 現代数学探険隊 解析学編

まず私自身がまとめたコンテンツとして現代数学探険隊の解析学編があります.

- [現代数学探険隊 解析学編の案内ページ](#)

関数解析の視点からは, 後述の [17, 18, 148] にあたる内容をまとめています. 集合・位相・実数論から議論していますし, 微分幾何・幾何解析にも役立つ解析的な議論もカバーしています. 幾何はいままさにノート作り進行中です.

6.5.1.5.4 関数解析・作用素論

量子論・量子力学の物理を勉強する上でほとんど何の役にも立たないと思いますが, 関数解析・作用素論は堀田さんの本 [102] にも引用されている [21] の前編である [17, 18] がお勧めです. 場の量子論については [19, 20] があります. これらは誤植訂正を新井先生に送ってあとで直接会ったときに感謝してもらえた程度に私は読み込んでいます.

数理というよりももう少し物理に踏み込んだ, 量子測定理論に関する本格的な本として [298] も紹介しておきます. この本を読むには [19, 20] 程度の知識, 特にスペクトル測度を使いこなせる力量が必要です.

6.5.1.5.5 汎関数積分

汎関数積分も同じく新井先生の [24] があります。ただしこの本は丁寧なのはいいものの、量子力学・場の量子論を議論するためには内容的に全く足りません。難易度が尋常ではなく跳ね上がりますが、もっと進んだ内容まで議論された本として [156] があります。廣島先生のホームページを見ると最近二巻に別れた改訂版が出たらしいので、新版を見た方がいいかもしれません。

6.5.1.5.6 作用素環

作用素環の基礎からはじめて物理、特に量子統計について議論した本としては [42, 43] が聖典です。難しくて院生当時の私には読めない部分もたくさんあったものの、読める部分はかなり読み込みました。特に作用素環に基づいた量子統計や場の量子論のテーマを議論するなら二章は必読です。新井先生の [23] も参考にはなりますが、富田-竹崎理論が書かれていないこともあり、本当に基礎の基礎です。富田-竹崎理論はそれが生まれた量子統計だけではなく、相対論的場の量子論でも基本中の基本です。

相対論的場の量子論に関しては堀田さんの本にも引用されている荒木先生の本 [28] またはその原典の講義録が昔から基本的なようですが、まともな人類が読める本ではありません。「必要な数学がなく、数学者も準備してくれる気配がないため、もう自分で数学を作る」というタイプの人達が読み書きする本です。数学の知識はなくても根源的な数学力に満ち溢れていて、数学者が納得できるレベルの数学の論文が書けるタイプの間人しか読めないでしょう。学生時代、この方面の数学での日本のリーダーである河東先生にお勧めされたのは [36] です。物理から数学に進学した私には基本的な数学力が足りなさすぎて、鍛えるためにもう少し簡単な非相対論的場の量子論と作用素論の勉強をしていて最終的に修論ではその話までしかできず、読み込み切れていませんが、少なくとも荒木先生の本よりは遥かに読みやすいです。

6.5.1.5.7 実解析・偏微分方程式

少しテーマがずれるものの、偏微分方程式を議論するタイプの本に興味があるなら [148] があります。数理物理の論文執筆レベルでの実用性が重視され過ぎていて、一部尋常ではないほどの難易度を誇るきらいはありますが、最後にシュレディンガー方程式の詳しい議論や、トーマス-フェルミ理論の解説もあり、ここまでで紹介してきた本よりは物理としても役に立ちます。この本の続編として物理の本では滅多に議論されない、物質の安定性をこつりと議論した [149] があります。他に BEC を議論した [150] もあります。続編になっている後半二冊はともかく、三冊ともに数学の知識ではなく、不等式を処理できるだけの数学者並の剛腕が問われる本です。

6.5.1.6 作用素環の基礎

6.5.1.6.1 言葉遣い

物理だとよく C^* -代数と呼ばれています。物理の人はたいてい数学的な言葉遣いが雑ですが、珍しく作用素環とリー環だけは生真面目に代数と呼ぶようです。ここでは数学の流儀に合わせて作用素代数ではなく作用素環と呼びます。

以下 C^* -環に限らない作用素環のごく基本的な議論を紹介します。作用素環は \mathcal{A} と書くことにし、積の単位元 (単位行列・恒等作用素) の存在を仮定します。

6.5.1.6.2 作用素環の原典・原点

作用素環はマレーとフォン・ノイマンが創始した分野で、有名な四連作 Rings of Operators のはじめに量子力学と表現論のために議論すると本当に書いてあります。論文の翻訳がちくま学芸文庫で出ている [261] ので、興味があれば眺めてみてください。

6.5.1.6.3 作用素環と正方行列環

まず作用素環は正方行列がなす環だと思ってください. 行列は有限次元も無限次元も含み, 数学として特に大事なのは無限次元の場合です. 位相に関わる議論は数学的にも物理的にも重要ですが, ここではそれほど問題にならないので特にコメントしません.

6.5.1.6.4 状態とその空間

作用素環 \mathcal{A} は特に線型空間であり, その上の線型汎関数 $\psi \in \mathcal{A}^*$ が考えられます. 特に $\psi(1) = 1$ をみたす線型汎関数を **状態** (state) と呼びます. これは作用素環の数学として正式な言葉で, 量子力学の状態を意識して命名されています.

命名の経緯はともかく, $\psi(1) = 1$ をみたす線型汎関数としての状態は重要で, [42] では状態の空間に対して $E_{\mathcal{A}}$ という記号が与えられています. 実は状態は有界な汎関数であることが示せ, 単位元の存在のもとで $E_{\mathcal{A}}$ は汎弱コンパクトであることも示せます.

6.5.1.6.5 純粋状態

簡単な計算で確認できるように状態の空間 $E_{\mathcal{A}}$ は凸集合です. クレイン-ミルマンの端点定理 (定理 1.6.10.7) によって端点が存在します. この端点の集合を $P_{\mathcal{A}} = \text{ex } E_{\mathcal{A}}$ と書き, この元を **純粋状態** と呼びます. これも量子論での純粋状態をもとに命名されています.

6.5.1.6.6 GNS 構成定理

次に作用素環 \mathcal{A} と状態 $\psi \in E_{\mathcal{A}}$ からヒルベルト空間と表現を構成する標準的な方法である **GNS 構成定理** を紹介しましょう. 詳しくは [42, P.54, 2.3.3] を見てください. 作用素環 \mathcal{A} 自身を \mathcal{A} が左から作用する \mathcal{A} -加群とみなし, この加群を \mathcal{K} と書くことにしましょう. 特に \mathcal{K} は線型空間なので, $\langle A, B \rangle = \psi(A^*B)$ とすれば, この $\langle A, B \rangle$ は \mathcal{K} の内積です. さらに

$\psi(A^*A) = 0$ をみたく $A \in \mathcal{A}$ の全体は左閉イデアル \mathcal{I} になります. つまり \mathcal{K}/\mathcal{I} は内積を持つ左 \mathcal{A} -加群になり, この内積で完備化すればヒルベルト空間 \mathcal{H} が得られます.

さらに作用素環 \mathcal{A} の表現は \mathcal{H} 上の有界線型作用素がなす環上に構成できます. 特に単位元 $1 \in \mathcal{A}$ による同値類 $1 + \mathcal{I}$ を Ψ と書くことにすると, $\psi(A) = \langle \Psi, \pi_\psi(A)\Psi \rangle$ と書けることまでわかります. これが GNS 構成定理です.

大事な注意として, ある状態に付随する表現は一意ではありません. 実際にあとで密度作用素に関連してもとは違う表現を構成します.

6.5.1.6.7 ベクトル状態

GNS 構成定理に関する追加コメントです. GNS 構成定理によって, 作用素環上の任意の状態に対して関係式 $\psi(A) = \langle \Psi, \pi_\psi(A)\Psi \rangle$ をみたくベクトル Ψ とヒルベルト空間があります. このように一つのベクトルで表せる状態を**ベクトル状態** (vector state) と呼びます.

ふつうの物理としての量子力学では次のようになっています.

- 状態の空間をヒルベルト空間 \mathcal{H} に設定する.
- その単位ベクトル $\Psi \in \mathcal{H}$ を**状態ベクトル**と呼ぶ.

一方作用素環上の数学的概念としての状態・ベクトル状態は次のようになっています.

- 作用素環上で単位元に対して 1 を返す線型汎関数が状態.
- ヒルベルト空間上の有界線型作用素がなす環の部分環としての作用素環 $\mathcal{A}_0 \subset \mathbb{B}(\mathcal{H})$ を考える.
- 作用素環 \mathcal{A}_0 上の状態 ψ がたまたま $\psi(A) = \langle \Psi, A\Psi \rangle$ と書けたとする.
- このとき $\Psi \in \mathcal{H}$ ではなく $\psi \in E_{\mathcal{A}}$ をベクトル状態と呼ぶ.

単語の順番を入れ替えるだけで全く違う概念になります. あとで出てくる

のできちんと区別してください。

6.5.1.6.8 正規状態と密度作用素

GNS 構成定理と関連した境の定理に関わるコメントです。有界線型作用素全体がなす環 $\mathbb{B}(\mathcal{H})$ 上の正規状態 ψ は密度作用素 ρ を使って $\psi(A) = \text{Tr}[\rho A]$ と書けることが知られています。もちろん堀田さんの本 [102] の定式化の基礎であり、量子統計の基礎でもあります。これについては [42, P.68, Proposition 2.4.3] などを参考してください。

6.5.1.7 作用素環による量子論の定式化のまとめ

堀田さんの本と簡単な対応をつけましょう。

物理	数学
物理量	作用素環 \mathcal{A} の (自己共役) 元
量子状態	作用素環 \mathcal{A} 上の状態 $\psi \in E_{\mathcal{A}}$
純粋状態	状態の空間 $E_{\mathcal{A}}$ の端点 $\psi \in P_{\mathcal{A}}$
状態の混合	二つの状態の凸結合
密度演算子	正規状態に対する密度作用素 ρ

状態の言葉遣いが雑なため、状態の混合の定義と純粋状態の定義が (私にとって) わかりにくい物理の本を良く見かけます。数学の言葉にした瞬間、それだけで物理の人には通じなくなる大問題がありますが、作用素環の言葉で整理するとこうなっています。

6.5.1.8 注意: 純粋状態の定義と数学的問題

堀田さんの本を含め、私が見た限りの物理の本では、純粋状態は 6.5.1.6.7 節の意味でのベクトル状態として定義しています。しかし作用素環による数

学的な定義としてはあくまで状態の空間 E_A の端点です。ここには GNS 構成定理に由来する大きなギャップがあります。具体的に説明しましょう。

一般の密度作用素 $\rho = \sum_{n=0}^{\infty} a_n |n\rangle \langle n|$ を取り、少なくとも二つの n に対して $a_n \neq 0$ をみたとし、 ρ が定める状態を $\psi_\rho(A) = \text{Tr}[\rho A]$ とします。

さて、この ρ は純粋状態でしょうか？ それとも混合状態でしょうか？ 堀田さんの本に書いてある物理的な定義からするとこれは混合状態を表すはずで、議論の余地はないと思うかもしれません。

しかしここで GNS 構成定理を思い出してください。この定理は全ての状態がベクトル状態で書けることを主張しています。堀田さんの本の定義からすればベクトル状態は純粋状態です。つまり密度作用素から定義される全ての状態は混合状態でもあり、純粋状態でもあることになってしまっていて意味がわかりません。

堀田さんの本の物理的な純粋状態・混合状態の定式化の問題は次のようにまとまります。

- 物理スタイル: 本来線型汎関数でしかない状態に対して、純粋状態の定義を具体的な密度作用素の表示・表現に依存させている。
- 数学スタイル: 具体的な表現に依存せず、純粋に作用素環上の状態空間の凸性だけで議論している。

次のように考えれば、物理スタイルで数学的な純粋状態を定義できます。

- 純粋状態: 状態 ψ に付随する**全ての**表現で ψ はベクトル状態として表現できる。
- 混合状態: 状態 ψ に付随する**ある**表現で ψ は二つ以上の固有状態を持つ。特に射影ではない密度作用素 ρ によってその表現の中で $\psi(A) = \text{Tr}[\rho A]$ と書ける。

これについては \mathbb{R}^n でのふつうの意味でのベクトルに関する、**堀田さんの連続ツイート**とも深い関係があります。特に解析力学・相対性理論では共変性の要請として、具体的な座標系の取り方に依存しないように理論を定式化

することが求められています。量子論は物理量の代数の表現に依存しないように定式化することが求められている、そうみなして理論を整理するために使われているのが作用素環とその上の状態の空間です。そしてこのアプローチだと形式的にはヒルベルト空間は全く出て来ず、物理量と状態概念だけで理論が構成できます。ヒルベルト空間が出てくるのは具体的な表現を使うときだけです。

物理での共変性の要請は次のようにも書けます。

- 理論自体は具体的な座標の取り方によらないように書こう。
- そうすれば具体例を解析するときは都合のいい座標系にうつっても問題ないお墨付きが得られるから。

これと並行的に純粋状態の定義に関わる議論をまとめましょう。

- 理論自体は具体的な作用素環の表現によらないように書こう。
- そうすれば具体例を解析するときは都合のいい表現にうつっても問題ないお墨付きが得られるから。

逆に言えばこの保証こそが作用素環の視点を導入する目的と言えます。たいていの物理の人にとってこれだけ知っておけば十分でしょう。

実は発散の困難に絡めた収束の問題は、作用素論・作用素環論から見ると物理量がなす代数の表現論だという指摘があり、私が修士で勉強・研究していたのがまさにこの問題です。ここではこれ以上詳しく触れません。

6.5.1.9 補足: 密度作用素が定義する状態を具体的にベクトル状態で書く方法

念のため密度作用素が定義する状態を具体的にベクトル状態で書く方法を紹介します。実は密度作用素はトレースが定義できる作用素として、トレースクラス \mathcal{C}^1 に属すると言われます。特に固有値の絶対値の総和が有限、つまり $\rho = \sum_{n=0}^{\infty} a_n |n\rangle \langle n|$ としたとき $\sum_{n=0}^{\infty} |a_n| < \infty$ をみたす作用素です。

ここで固有値の絶対値の二乗の総和が有限, つまり $\sum_{n=0}^{\infty} |a_n^2| < \infty$ をみたす作用素も考えられ, これをヒルベルト-シュミット作用素と呼び, ヒルベルト-シュミット作用素の全体をヒルベルト-シュミットクラスと言い, \mathcal{C}^2 と書きます. ヒルベルト-シュミットクラスは $\langle A, B \rangle = \text{Tr}[A^*B]$ を内積としたヒルベルト空間になっています.

密度作用素の全ての固有値は非負なので, スペクトル分解によって作用素の平方根が $\sqrt{\rho} = \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{a_n} |n\rangle \langle n|$ と定義でき, $\sqrt{\rho}$ はヒルベルト-シュミットクラスの作用素です. そして $\sqrt{\rho}$ からなるベクトル状態 $\omega(A) = \langle \Omega, \pi(A)\Omega \rangle$, $\Omega = \sqrt{\rho} + \mathcal{I}$ をもとに GNS 表現が構成できます.

6.5.1.10 有料の勉強会・家庭教師の案内

最後に有料での堀田さんの本の勉強会・家庭教師を案内します.

念のため簡単に自己紹介しておきましょう. 私は学部は物理学科, 修士では数学科で作用素論・作用素環論による場の量子論・量子統計力学の数理を勉強・研究していました. 上のツイートでのやり取りにもあるように, 物理はともかく, 少なくとも物理に関わる数学については堀田さんにも一定の信頼を頂いていると思いますし, 実際に理論物理学者である松尾衛さんとも物理数学の勉強会を開いていますし, 松尾さんへの数学の個人指導を有料ではじめることになりました. 物理の人に伝わるように数学の話をする能力に関しては一定の能力があると自負しています.

念のため, 私がふだんどんな話をどう展開しているかの参考として次のページ・勉強会を案内しておきます.

- [理論物理学者に市民が数学を教えようの会](#)

勉強会では物理に集中したいので, 本 [102] の途中に挟まる数学の解説はできる限り飛ばして進めたいと思っています. もちろんここで議論したような, 本に書いていない内容または本での想定を越えるような数学については適宜今回のような補足を入れる予定です. それこそ[現代数学探険隊 解析学](#)

編で量子論のための数学, 特に線型代数と基本的な解析学は徹底的に議論して整備してあります. 必要に応じてぜひこちらも参照してください.

上で堀田さんが書いているように, 堀田さんの本 [102] は数学の人には読みにくい部分があると思います. 非数学の人, 特に純粋な物理の人には数学関係者が何を問題にしているのかさえわからないこともよくあるようです. 私はそのギャップを埋められるレアな人材であろうと思います. そもそも作用素環を知っている人自体の絶対数が少ないという理由もあります. その意味では数学オリエンテッドな人の方が私との相性はいいかもしれません. もちろん物理系をはじめとした非数学系の方も歓迎します. ちなみに, 物理の前に堀田さんの本に書かれた数学の内容を教えてください, もっと一般に(物理に関わる)数学を教えてくださいといった要望については別途お問い合わせください.

これを書いた 2021-07-17 時点ではまだ堀田さんの本をきちんと読み込んでいないため, 具体的な詳しい進め方は検討中です. もし興味があるなら, 次のページからメールアドレスを登録しておいてください.

- [堀田本による量子力学勉強会 登録ページ](#)

現状, 料金の相場感としては[すうがくぶんか](#)の値段帯, つまり一時間 7,000 円程度 (税抜) を想定しています. 何か質問などあれば[サイトのお問い合わせ](#)などからご連絡ください.

6.5.1.11 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ていただきます.

6.5.1.12 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] 岩澤健吉. 『代数函数論』. 岩波書店, 3 1952.
- [111] M. Kac, 陽一郎高橋, 眞澄中嶋. 『Kac 統計的独立性』. 数学書房, 4 2011.
- [112] Mark Kac. Can one hear the shape of a drum? *American Mathematical Monthly*, Vol. 73, pp. 1–23, 1966.
- [113] 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.
- [114] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [115] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras: Advanced Theory*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [116] 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.
- [117] 唐木田健一. 『原論文で学ぶアインシュタインの相対性理論』. 筑摩書房, 4 2012.
- [118] Ioannis Karatzas and Steven Shreve. *Brownian Motion and Stochastic Calculus*. Springer, 8 1991.
- [119] 笠原乾吉. 『複素解析 1 変数解析関数』. 筑摩書房, 8 2016.
- [120] 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.
- [121] 柏原正樹. 『代数解析概論』. 岩波書店, 3 2008.
- [122] 桂利行. 『代数幾何入門』. 共立出版, 10 1998.
- [123] 桂利行. 『代数学 II 環上の加群』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [124] 川北稔. 『砂糖の世界史』, 岩波ジュニア新書. 岩波書店, 7 1996.
- [125] 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.
- [126] 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.
- [127] 圏論の歩き方委員会. 『圏論の歩き方』. 日本評論社, 9 2015.
- [128] S. Khaleelulla. *Counterexamples in Topological Vector Spaces*. Springer Berlin Heidelberg, 7 1982.
- [129] 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.
- [130] 木村達雄. 『佐藤幹夫の数学』. 日本評論社, 9 2014.
- [131] 北原晴夫, 河上肇. 『調和積分論』. 近代科学社, 9 1991.
- [132] Shoshichi None Kobaashi and Katsumi None Nomizu. *Foundations of Differential Geometry I*. Wiley, 2 1996.
- [133] 小林昭七. 『複素幾何』. 岩波書店, 9 2005.
- [134] 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.
- [135] 小林俊行, 大島利雄. 『リー群と表現論』. 岩波書店, 4 2005.
- [136] 小平邦彦. 『新・数学の学び方』. 岩波書店, 1 2015.
- [137] 小平邦彦. 『複素多様体論』. 岩波書店, 1 2015.
- [138] 国立天文台. 『理科年表 平成 25 年版 机上版』. 丸善出版, 11 2013.
- [139] A. N. Kolmogorov and S. V. Fomin. *Introductory Real Analysis*. Dover, 6 1975.
- [140] 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.
- [141] 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.
- [142] 今野宏. 『微分幾何学』. 東京大学出版会, 10 2013.
- [143] 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.
- [144] 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.
- [145] F. William Lawvere and Robert Rosebrugh. *Sets for Mathematics*. Cambridge University Press, 4 2003.
- [146] Tom Leinster. Rethinking set theory. p. 8, 2012.
- [147] Ulf None Leonhardt and Thomas G. Philbin. Transformation optics and the geometry of light. *arxiv*, p. 72, 7 2008.
- [148] E. H. Lieb and M. Loss. *Analysis*. Amer. Math. Soc., 4 2001.
- [149] E. H. Lieb and R. Seiringer. *The Stability of Matter in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 11 2009.
- [150] 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.
- [151] E. H. Lieb and B. Simon. Thomas-fermi theory of atoms, molecules and solids. *Adv. in Math.*, Vol. 23, pp. 22–116, 1977.
- [152] E. H. Lieb and J. Yngvason. The physics and mathematics of the second law of thermodynamics. *arXiv:cond-mat/9708200*, p. 101, 8 1997.
- [153] E. H. Lieb and J. Yngvason. The entropy concept for non-equilibrium states. *arxiv:1305.3912*, pp. 1–23, 2013.
- [154] Elliot H. Lieb. The stability of matter: from atoms to stars. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 22, No. 1, pp. 1–49, 1990.
- [155] Elliot H. Lieb. *Quantum Mechanics, The Stability of Matter and Quantum Electrodynamics*. arXiv, 1 2004.
- [156] 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.
- [157] 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.

-
- [158] 松本幸夫. 『多様体の基礎』. 岩波書店, 9 1988.
- [159] 松島与三. 『多様体入門』. 裳華房, 4 2017.
- [160] 松坂和夫. 『集合・位相入門』. 岩波書店, 6 1968.
- [161] John Milnor. *Morse Theory*. Princeton University Press, 1963.
- [162] John Willard Milnor. *Topology from the Differentiable Viewpoint*. Princeton Univ Pr, 11 1997.
- [163] 宮島静雄. 『ソボレフ空間の基礎と応用』. 共立出版, 8 2006.
- [164] 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.
- [165] 森本光生. 『復刊 佐藤超関数入門』. 共立出版, 9 2000.
- [166] 森田茂之. 『微分形式の幾何学』. 岩波書店, 10 2016.
- [167] Mohammad Sal Moslehian. The counterexamples in functional analysis. *On the internet*, 2002.
- [168] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん 2』. ポプラ社, 10 2014.
- [169] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん 3』. ポプラ社, 10 2015.
- [170] 向井湘吾. 『お任せ! 数学屋さん』. ポプラ社, 4 2015.
- [171] 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.
- [172] Mikio Nakahara. *Geometry, Topology and Physics*. CRC Press, 6 2003.
- [173] 中村周. 『量子力学のスペクトル理論』. 共立出版, 7 2012.
- [174] 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.
- [175] 西川青季. 『幾何学的変分問題』. 岩波書店, 4 2006.
- [176] 西野利雄. 『多変数関数論』. 東京大学出版会, 11 1996.
- [177] 登坂宣好, 大西和栄, 山本昌宏. 『逆問題の数理と解法-偏微分方程式の逆解析』. 東京大学出版会, 12 1999.
- [178] 野口潤次郎. 『多変数解析関数論学部生へおくる岡の連接定理』. 朝倉書店, 4 2013.
- [179] Katsumi Nomizu and Hideki Ozeki. The existence of complete

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

- Second Edition*. Chapman and Hall/CRC, 1 1999.
- [197] 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.
- [198] 齋藤毅. 『集合と位相』. 東京大学出版会, 9 2009.
- [199] 齋藤正彦. 『線型代数入門』. 東京大学出版会, 3 1966.
- [200] Shoichiro Sakai. *C^* -Algebras and W^* -Algebras*. Springer, 12 1997.
- [201] Takashi None Sakai. *Riemannian Geometry*. American Mathematical Society, 5 1996.
- [202] 坂井秀隆. 『常微分方程式』. 東京大学出版会, 8 2015.
- [203] 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.
- [204] 酒井高司. 『tex 入門』, 2013.
- [205] 佐武一郎. 『線型代数学 (新装版)』. 裳華房, 6 2015.
- [206] 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.
- [207] 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.
- [208] 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.
- [209] M. Schwarz. *Morse Homology*. Springer, 10 1993.
- [210] 赤攝也. 『実数論講義』. 日本評論社, 6 2014.
- [211] Y. Sekine. Magnetism and infrared divergence in a hubbard-phonon interacting system. *arxiv:10082056*, pp. 1–9, 8 2010.
- [212] 関根良紹. 『現代数学探険隊』. 相転移プロダクション, 2017.
- [213] Jean Pierre Serre. Géométrie algébrique et géométrie analytique. *Annales de l'institut Fourier*, Vol. 6, pp. 1–42, 6 1956.
- [214] 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.
- [215] 島内剛一. 『数学の基礎』. 日本評論社, 1 1971.
- [216] 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.
- [217] 清水明. 『熱力学の基礎』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [218] シンサイモン. 『フェルマーの最終定理』. 新潮社, 5 2006.
- [219] シンサイモン. 『暗号解説 上』. 新潮社, 6 2007.
- [220] シンサイモン. 『暗号解説 下』. 新潮社, 6 2007.
- [221] シンガー I., ソープ J. 『トポロジーと幾何学入門』. 9 1995.
- [222] 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.
- [223] 相転移 P. 『よくわからない数学 色々な反例で遊ぼう』, 10 2013.
- [224] 相転移 P. *Math textbook*. phasetr production, 2014.
- [225] 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.
- [226] 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.
- [227] Jordan Stoyanov. *Counterexamples in Probability: Third Edition*. Dover Publications, 9 2013.
- [228] R. Streater and A. Wightman. *PCT, Spin and Statistics, and All That*. Princeton Univ. Pr., 12 2000.
- [229] 杉浦光夫. 『解析入門 I』. 東京大学出版会, 3 1980.
- [230] 杉浦光夫. 『解析入門 II』. 東京大学出版会, 4 1985.
- [231] 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.
- [232] 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.

-
- [233] 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.
- [234] 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.
- [235] George G. Szpiro. 『ケプラー予想』. 新潮社, 4 2005.
- [236] 高木貞治. 『定本 解析概論』. 岩波書店, 9 2010.
- [237] 高瀬幸一. 『群の表現論序説』. 岩波書店, 5 2013.
- [238] 高瀬正仁. 『岡潔—数学の詩人』. 岩波書店, 10 2008.
- [239] 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.
- [240] 高瀬正仁. 『ガウスの数論 わたしのガウス』. 筑摩書房, 3 2011.
- [241] 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.
- [242] 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.
- [243] 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.
- [244] Masamichi Takesaki. *Theory of Operator Algebras I*. Springer, 2002.
- [245] 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.
- [246] 田中尚夫. 『選択公理と数学』. 遊星社, 10 2005.
- [247] 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.
- [248] 田崎晴明. 『数学:物理を学び楽しむために』. On the internet, 2013.
- [249] 田崎晴明. 『熱力学—現代的な視点から』. 培風館, 4 2000.
- [250] 寺澤順. 『トポロジーへの招待』. 日本評論社, 4 2012.
- [251] Gerald Teschl. *Mathematical Methods in Quantum Mechanics*

- With Applications to Schrödinger Operators. American Mathematical Society, 11 2014.
- [252] 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.
- [253] 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.
- [254] 坪井俊. 『幾何学 I 多様体入門』. 東京大学出版会, 4 2005.
- [255] 土基善文. 『 x の x 乗の話』. 日本評論社, 7 2002.
- [256] 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と』. 日本評論社, 11 2013.
- [257] 植村信子. 『たかが数学, されど数学』. 山形大学, 10 2005.
- [258] 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.
- [259] 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.
- [260] 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.
- [261] 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.
- [262] Frank W. Warner. *Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups*. Springer, 11 1983.
- [263] 渡辺澄夫. 『データ学習アルゴリズム』. 共立出版, 7 2001.
- [264] 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.
- [265] 渡辺澄夫. 『ベイズ統計の理論と方法』. コロナ社, 3 2012.
- [266] Hermann Weyl. *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. Dover Publications, 6 1950.
- [267] Hermann Weyl. 『リーマン面』. 岩波書店, 5 2003.
- [268] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 上』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房,

- 4 2007.
- [269] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 下』. ちくま学芸文庫. 筑摩書房, 4 2007.
- [270] 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.
- [271] 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.
- [272] Pauli Wolfgang. *Theory of Relativity*. Dover Publications, 7 1981.
- [273] 山本昌宏. 『逆問題入門』. 岩波書店, 1 2002.
- [274] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 I』. 朝倉書店, 9 1998.
- [275] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 II』. 朝倉書店, 9 1998.
- [276] 山内恭彦, 杉浦光夫. 『連続群論入門』. 培風館, 8 2010.
- [277] 山崎隆雄. 『初等整数論 数論幾何への誘い』. 共立出版, 5 2015.
- [278] 安田まさえ. 『数学女子 1』. 竹書房, 9 2010.
- [279] 保江邦夫. 『量子の道草-方程式のある風景』. 日本評論社, 1 2009.
- [280] 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.
- [281] 吉田洋一. 『ルベグ積分入門』. 筑摩書房, 8 2015.
- [282] 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.
- [283] K. Yosida. *Functional Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 8 1996.
- [284] Laurence Chisholm Young. *Lectures on the calculus of variations and optimal control theory*. Amer Mathematical Society, 8 2000.
- [285] 結城浩. 『数学ガール』. ソフトバンククリエイティブ, 6 2007.
- [286] 結城浩, 茉崎ミユキ. 『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.
- [287] 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.
- [288] Max Zorn. Characterization of analytic functions in banach spaces.

- Annals of Mathematics*, Vol. 46, No. 4, pp. 585–593, 10 1945.
- [289] Max Zorn. Derivatives and fréchet differentials. *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 52, pp. 133–137, 1946.
- [290] 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.
- [291] 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.
- [292] ロンハワード. 『ビューティフル・マインド』, 9 2012.
- [293] 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.
- [294] ダンブラウン. 『ダ・ヴィンチ・コード (1 枚組) [dvd]』, 12 2015.
- [295] 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.
- [296] 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.
- [297] 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.
- [298] 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, 2198

I -不変, 7481

アインシュタイン計量, 7294

アインシュタイン多様体, 7294

アインシュタインの縮約, 5752

亜群, 2965

アダマールの不等式, 5732, 6094

アトム, 1555

アトラス, 6890

極大-, 6891

アフィン空間, 6893

アフィン写像, 6913

アフィン変換, 6914

アフィン変換群, 6914

粗い, → 位相が弱い

関係が-, 2658

アルティン環, 6646

アーベル群, → 可換群

アーベル微分, 7666

イェンゼンの不等式, 3973

位数, 2967, 6537

零点の-, 5063

位相, 3152, 3779

一様-, 4569, 4792

強作用素-, 4569, 4792

弱-, 4567

弱作用素-, 4569, 4793

超弱作用素-, 4569, 4793

ノルム-, 4569, 4792

汎弱-, 4390, 4568

密着-, 3156

離散-, 3156

位相が強い, 3156

位相が弱い, 3156

位相空間, 3152

位相構造, 6891

位相多様体, 6890

位相同型, → 同相

イソトピー, 6914

一意分解整域, 6618

一径数局所群, 7006

一径数部分群, 7081

一径数変換群, 7001

一径数ユニタリ群, 5296

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, 6248

一様収束位相, 3267

一様分布, 2143, 6236

一様有界, 5418

一致の定理, 5064

一般解, 5407

一般線型群, 4794, 5129, 5899, 7085

一般線型リー環, 6396

一般分配関数, 2168

イデアル, 2975, 6557

左-, 2974

右-, 2975

両側-, → イデアル

陰関数, 5706

因子, 7737

関数の-, 7738

- 因子群, 7737
- ウェイト, 7775
- ウェッジ積, 5798
- 上正則化, 6792
- 上に有界, 3016, 5257
- 埋め込み, 3187
 - 位相空間の-, 6968
 - 微分多様体の-, 6969
- ウリゾーンの距離づけ定理, 3736
- 運動, 7017, 8650
- 運動エネルギー, 5577
- 運動群, 7017
- SNAG 定理, 5305
- エタール空間, 6826, 6840
- エネルギー
 - 曲線の-, 7354
 - 写像の-, 7401
- エピ, 6872
- エルミート, 4632
- エルミート計量, 7063, 7257
- エルミート多項式, 4701
- エルミート多様体, 7063
- エルミートベクトル束, 7257
- 円周率, 4479, 5083
- エントロピー, 2173
- オイラー記述, 8621
- オイラー形式, 7460
- オイラー座標, 8625
- オイラー表現, 8625
- オイラー標数, 7352
- オイラー類, 7460
- 横断的に交わる, 7207
- 応力, 8654
- 押し出し, 5822, 6952, 7135
- 同じホモトピー型, 7117
- 音楽同型, 7276, 7926
- 解, 5407
 - 因子の-, 7792
 - ミッタク-レフラー分布の-, 7777
- 階位関数, 8105
- 開埋め込み, 3221
- 開核, 3210
- 回帰的, 4565
- 開球, 3053, 3258
- 開近傍, 3053, 3153, 3210
- 開近傍の基本系, 3218
- 解空間, 5459
- 開写像, 3221
- 開集合, 3153
- 階数, 4312
 - たようたいかんのしゃぞうの-
多様体間の写像の-, 6955
- 解析接続, 7634, 8076
 - が極大, 7634
 - 道に沿った-, 7631
- 解析接続の原理, 6833
- 解析多様体, 6891
- 解析的, 5014, 7939
- 解析的円板族, 7996
- 解析的撰動論, 5140
- 回転, 5754, 5755, 6163
- 回転数, 4985, 5049
- 解の延長, 5408
- 解の基本系, 7696
- 開被覆, 3219
- 開部分空間, 3160
- 開部分多様体, 6896
- 開リーマン面, 6892
- 下界, 3016
- 可解, 8061
- 可換, 5341
- 可換リー環, 6396
- 過学習, 2362
- 下極限
 - 集合列の, 3872
- 可逆, 6616
- 核, 6861
 - 線型作用素の-, 4642, 4728
- 角運動量, 6146
- 拡散率, 6192
- 拡大環, 6654
- 拡大実数, 3020
- 拡大体, 6584
- 確定特異点, 7701
- 各点収束, 3305
- 確率過程, 2189
- 確率行列, 2188
- 確率空間, 3851
- 確率収束, 5919, 6243
- 確率測度, 3851
- 確率変数, 3898
- 確率ベクトル, 2188
- 確率密度関数, 2121
- 確率モデル, 2171
- 加群, 2978, 4559, 6592
 - 射影-, 6607

- かけ算作用素, 4763
- 下限, 3016
- 加工硬化, 8643
- 可算集合, 1253
- 可縮, 7118
- 可積分系, 5387
- 仮説検定, 2197, 2320
- 可測, 3891
 - 弱-, 4896
- 可測関数, 3882
- 可測空間, 3828
- 数え上げ作用素, 6506
- 数え上げ測度, 3856
- 形作用素, 7302
- 括弧積, → 交換子積
- 仮定, 2575
- かなめ, 4310
- 可分, 3729
- 加法群, → 可換群
- 加法族, 3828
- 加法的, 3850
- 加法的に保型, 7681
- 可約, 6673
- カルキン環, 4835
- カルバック-ライブラ情報量, 2292, 2370
- 環
 - 可換-, 2971
 - 可換 C^* -, 4390
 - 可換フォン・ノイマン-, 4390
 - 関数-, 4862
 - 行列-, 2648, 3530, 4250
 - コンパクト台の連続関数-, 4344
 - 作用素-, 4401
 - 多項式-, 4387
 - 単位的-, 2971
 - バナッハ-, 3791, 4249, 4401
 - 無限遠で消える連続関数-, 4342, 4379, 4401
 - 連続関数-, 2650, 2796
- 還元, 7443
- 関数
 - エルミートな半双線型-, 4668
 - 階位, 4871
 - 緩増加超-, 4541
 - 局所可積分-, 4379
 - 原始, 5000
 - 原始-, 4402
 - 座標-, 5684
 - 指数-, 4418, 4462, 4467, 5072
 - シュワルツの超-, 1183, 4487
 - 整-, 5061
 - 正弦-, 4475, 5080
 - 正值超-, 4515
 - 正值汎-, 4632
 - 線型汎-, 4225, 4563, 4578
 - 超-, 4398
 - 超導-, 4491
 - ディラックのデルタ-, → デルタ関数
 - ディラックのデルタ超-, → デルタ関数
 - デルタ-, 4401, 4407, 4697, 4702, 4856
 - デルタ超-, → デルタ関数
 - 凸-, 1409
 - 半双線型-, → 準双線型形式
 - 余弦-, 4475, 5080
- 関数行列式, 6907
- 関数体, 6698
- 完全, 6603, 6872
- 完全加法族, 3828
- 完全形式, 5828, 7669
- 完全積分可能, 7094
- 完全不連結, 3429
- 完全べき等, 6617
- 完全ラインハルト領域, 7935
- 完備, 3684, 7327
 - なベクトル場, 7003
- 完備性
 - 前層の, 6845
- 芽, 6839
- 外延的記法, 2617
- 開核, → 内部
- 概収束, 5919, 6243
- 外積, 4917
- 外積代数, 5796
- 外転, 3210
- 外微分, 6939
- 外微分作用素, 5825
- 概複素構造, 6488, 7059, 7073, 7469, 7479
- 概複素多様体, 7059, 7073, 7479
- 外部, 3210
- 外部正則, 3855
- 外法線ベクトル, 5873, 6149
- ガウシアン, → 熱核
- ガウス過程, 2201
- ガウス型確率変数, 6240
- ガウス曲率, 7308

- ガウス整数, → 複素整数
 ガウスの方程式, 7305
 ガウス分布, 6240
 ガウス-ボネの定理, 7347
 合併, → 和集合
 ガトー微分, → 方向微分
 ガロア被覆, 7192, 7645
 含意, 2573
 ガンマ関数, 6118
 基
 位相の-, → 基底
 消える
 関数がある集合で-, 3801, 4336, 4376, 4485
 関数がある点で-, 3801, 4336, 4376, 4485
 幾何環, 6682
 幾何学的多重度, 6339
 棄却, 2320
 基底, 8093
 開集合の-, 3218, 7035
 自然-, → 標準基底
 線型空間の-, 4590
 標準-, 5674
 基底エネルギー, 5173, 5577
 基底関数, 2200
 基底状態, 5577
 軌道, 7001
 基本解, 6198
 基本近傍系, 3218
 基本群, 7128
 基本形式, 6497
 基本対称関数, 7639
 基本ベクトル場, 7089
 基本列, → コーシー列
 帰無仮説, 2197
 既約, 6673
 既約元, 6561, 6618
 既約成分, 6677
 既約分解
 代数多様体の-, 6677
 求心加速度, 6146
 級数
 交代-, 4463
 整-, → べき級数
 べき-, 4464, 5068
 ローラン-, 5020
 強圧性, 5171
 強圧的, 5232
 境界, 3210, 5861
 強擬凸-, 4871
 境界条件, 5405, 5453
 境界値問題, 5405
 強可換, 5342
 狭義対称減少, 6294
 共形的に同値, 6496
 強収束, 5919
 強多重劣調和関数, 7984
 共通部分, 1241, 2608
 共変外微分, 7237
 共変微分, 7234
 共変余微分作用素, 7383
 共鳴極, 5136
 共鳴現象, 5991
 共役元, 7049
 共役事前分布, 2383
 共役レフシェッツ作用素, 6503
 強レゾルベント収束, 5137
 極, 5022, 7603, 7664, 7887, 8058
 極限, 3058, 3076
 極小, 5691
 極小埋め込み, 7412
 極小曲面, 7308
 極小はめ込み, 7412
 極小部分多様体, 7412
 局所化, 6693
 局所解, 5408
 局所環, 6639
 局所径数, 5855
 局所弧状連結, 3430, 7142
 局所コンパクト, 7035
 局所座標, 5775, 5855, 6890
 局所座標系, 5775, 5855, 6890
 局所自明化, 7213
 局所正則自明化, 7472
 局所双正則, 8074
 局所単連結, 7170
 局所定数関数, 3182
 局所同相, → 局所同相写像
 局所半単連結, 7175
 局所標構, 6932
 局所変換, 7006
 局所有限, 3855, 5523, 6854, 7029
 局所劣調和, 7821
 局所連結, 3430, 7142
 曲線, 3179, 4976, 5851, 7112

- の長さ, 4983
- 逆向きの-, 4976
- ジョルダン-, → 単純曲線
- 単純-, 4976
- 微分可能な-, 6915
- 閉-, 4976
- 曲線座標系, 6893
- 曲線の長さ, 7265
- 極大, 5691
- 極大フィルター, 3545
- 極値, 5691
- 極値点, 5691
- 極分解, 4781, 4833
- 曲面, 5851
 - 超-, 5851
- 曲率, 7239
 - 曲線の-, 6135
 - 主束の-, 7433
- 虚数単位, 2961
- 虚部, 2961
- 距離, 3257
- 距離関数, 3052
- 距離空間, 3258
- 距離づけ可能, 3734
- 距離の公理, 3258
- キリングの微分方程式, 7022
- キリングベクトル場, 7022, 7393
- 近傍, 3053, 3153, 3210
 - 除外-, 5018
 - 除外 ε -, 4973
- 擬凸
 - C -, 8000
- 擬凸集合
 - L -, 7994
 - O -, 7996
 - D -, 7994
 - P -, 7995
- ぎとつしゅうごう擬凸集合, 7998
- 逆, 2575
- 逆温度, 2171
- 逆格子ベクトル, 6080
- 逆写像, 1252
- 逆写像定理
 - 正則関数の-, 6757
- 逆像, 1252
- 行列, 4799
 - 環, 2648, 3530, 4250
 - 式, 4305
 - の基本変形, 4310
 - の成分, 4800
 - の左基本変形, 4310
 - の標準形, 4311
 - の右基本変形, 4310
 - 基本-, 4309
 - 共役-, 4800
 - 正方-, 451
 - 正方-, 4303
 - 零-, 4303
 - 単位-, 451
 - 転置-, 4800
 - のランク-, → 階数
 - 表現-, 4303
 - ヤコビ-, 4314
- 行列式
 - 小-, 5710
- 擬リーマン多様体, → 準リーマン多様体空間, 3019
 - アフィン-, 5842
 - 位相線型-, → 線型位相空間
 - 位相ベクトル-, → 線型位相空間
 - 運動量-, 4420
 - 急減少関数の-, 4425
 - 局所凸線型位相-, 4566
 - 試験関数の-, 1182, 4487
 - 終-, 4831
 - シュワルツ-, → 急減少関数の空間
 - 商バナッハ-, 4589
 - 初期-, 4831
 - 線型-, 3641, 4559
 - 線型位相-, 4566
 - 全フォック-, 4927
 - 双対-, 4015, 4038, 4225, 4254, 4563, 4564, 4578, 4579
 - ソボレフ-, 4345, 4365, 4366, 4378, 4494, 5482
 - 直和線型-, 4641
 - 直和内積-, 4642
 - 直和ノルム-, 4642
 - 直和バナッハ-, 4642
 - 直和ヒルベルト-, 4642
 - 直交補-, 4678
 - 内積-, 4561, 4667
 - 二重双対-, → 第二双対空間
 - ノルム-, 3266, 4561, 4662
 - 波数-, → 運動量空間
 - バナッハ-, 4561

ヒルベルト-, 4561, 4668
 フェルミオンフォック-, 4928
 ベクトル-, → 線型空間
 ボソンフォック-, 4928
 ミンコフスキー-, 4421
 無限直和ヒルベルト-, 4900
 有限粒子線型-, 4927
 空間座標, 8650
 空間的, 6480
 空集合, 1238, 2608
 区間
 -塊, 4197, 4318
 開-, 3019
 半開-, 3020
 左開-, 3833
 閉-, 3019
 茎, 6704
 クザン第一分布, 8059
 クザン第一分布の解, 8059
 クザン第二分布, 8061
 クザン第二分布の解, 8062
 区分行列, → ブロック行列
 区分的に滑らかな曲線, 6915
 クリストッフエル記号, 7271
 クリフォード束, 7525
 クリフォード代数, 7525
 クロス積, → ベクトル積
 クロネッカーの近似定理, 6973
 クロネッカーのデルタ, 2659
 クーロンエネルギー, 6355
 クーロンポテンシャル, 6354
 グラディエント, → 勾配
 グラフ, 2658, 4643, 4728
 グラム-シュミットの直交化, 4684
 グラム行列, 6098
 グリーン関数, 5464, 6200
 グリーン作用素, 6462
 グリーンの公式, 7376
 グロウンウォールの不等式, 5425
 グロウンウォールの補題, 5425
 群, 2967, 6537
 可換-, 2968, 4397, 6537
 局所コンパクト-, 4397
 局所コンパクト可換-, 4420
 双対-, 4420
 有限-, 2967, 6537
 リー-, 4397
 系, 2578

茎
 前層の-, 6839
 層の-, 6826
 経験エントロピー, 2173
 経験誤差関数, 2169
 経験損失, 2169, 2174
 経験対数損失関数, 2166
 形式
 曲率 2-, 6932
 準双線型-, 4668, 4695
 接続-, 6932
 双線型-, 4668
 チャー-, 4948
 形式化, 2606
 形式的共役, 7591
 形式的逆写像, 1252, 2792
 係数環, 2978
 係数体, 2978
 結合分布, → 同時分布, 2122, 6227
 結合分布関数, 6237
 結論, 2575
 ケーラー-アインシュタイン計量, 7516
 ケーラー-アインシュタイン多様体, 7516
 ケーラー・アインシュタイン多様体, 7294
 ケーラー形式, 7493
 ケーラー計量, 7065, 7493
 ケーラー多様体, 7065, 7493
 ケーラーポテンシャル, 7511
 ケーリー変換, 5291, 5292, 7344
 (集合の) 元, 1236
 元, → 要素
 現座標, 8650
 原始関数, 7676
 原始的, 6510, 6571
 現状態, 8650
 原理
 一様有界性の-, 4349, 4637
 縮小写像の-, 3753, 4400
 不可弁別性の-, 4907
 ゲージ変換, 7259
 ゲージ変換群, 7242, 7259
 光円錐, 6480
 交換子, 5341, 6989, 6990
 交換子積, 6396
 降鎖律, 6646
 格子, 6901, 7803
 公式
 オイラーの-, 4475, 5079

- コーシーの積分-, 5058
 ド-モアブルの, 4475, 5079
 ファインマン-カット-伊藤-, 4949
 構造群, 7422
 交代群, 6546
 勾配, 4316, 5754, 6162, 8616
 勾配ベクトル場, 7374
 勾配流, 7927
 コサイクル, → 余輪体, 6867, 8053, 8056
 コサイクル条件, → 余輪体条件, 6867, 7215
 弧状連結, 7123
 弧状連結成分, 3431
 小平-中野の消滅定理, 7513
 コダッチの方程式, 7305
 コチェイン, → 余鎖, 6866, 8053, 8056
 コチェイン群, 6866
 固定部分群, 7090
 コバウンダリ, → 余境界, 6867, 7872,
 8053, 8056
 コバウンダリ作用素, 6866
 コホモロジー群, 6867, 7873
 コホモローク, 6867
 細かい, → 位相が強い
 関係が-, 2658
 固有関数, → 固有ベクトル
 固有空間, 5149
 固有写像, 7186
 固有多項式, 5903
 固有値, 5148
 埋蔵-, 5184
 離散-, 5184
 固有ベクトル, 5148
 コリオリの加速度, 5972
 孤立点, 3157
 コルモゴロフの σ -加法族, 4076
 根基, 6638
 根源事象, → 標本
 コンパクト, 3471
 局所-, 4397
 弱-, 4649, 5374
 弱点列-, 4651
 準-, 5187
 相対-, 4393
 汎弱-, 4648, 5374
 汎弱点列-, 4651
 コンパクト開位相, 5090
 コンパクト作用素, 5316
 コーシー応力, 8650
 コーシーの積分表示式, 6805
 コーシーの評価式, → コーシーの不等式
 コーシー分布, 6236
 コーシー-リーマンの方程式, 7940
 合成積, → たたみ込み
 合同関係, 2660
 互換, 4908
 ゴルディングの不等式, 7547
 サイクル, 4981, 7795
 最小化元, 5573
 最大延長解, 5408
 最頻値, 2309
 細分, 5523, 6854, 7029
 最尤推定法, → 最尤法
 最尤法, 2148, 2378
 差集合, 2615
 差積, 4909
 鎖則, 5662
 作用
 効果的な-, 7090
 自由な-, 7090
 作用素
 エルミート-, 4753
 可閉-, 4731
 共役-, 4734
 共役線型, 4563
 極大単調-, 4778
 グリーン-, 5123
 交代化, → 反対称化作用素
 コンパクト-, 4746, 4834
 射影-, 4804, 4856, 4963
 消滅-, 4930
 自己共役-, 4753, 4804, 4962
 正-, 4753, 4804, 4963
 正規-, 4804, 4963
 生成-, 4931
 対称-, 4753
 対称化-, 4917
 単調-, 4778
 等距離-, 4804, 4963
 反対称化-, 4917
 非拡大, 5126
 非負-, 4753
 フレドホルム, 4835
 部分等距離-, 4804, 4963
 閉-, 4728
 本質的自己共役, 4753
 有限階-, 4833

- ユニタリ-, 4443, 4804, 4856, 4963
- ラプラス-, → ラブラシアン
- 作用素解析, 5209, 5214, 5244, 5278
- 作用素多項式, 5200
- 作用素の拡大, 4441, 4725
- 作用素の拡張, → 作用素の拡大
- 三角多項式, 5262
- 三角不等式, 3258, 3266
- 参照状態, 8650
- サンプル, 2170, 2295
- サードの定理, 6961
- 座標環, 6682
- 座標基底, → ホロノミック基底
- 座標近傍, 5775, 5855, 6890
 - ベクトル束の-, 6928, 7213
- 座標近傍系, 5775, 6890
- 座標変換, 5776, 6890
- ザリスキ位相, 6675, 6679
- σ -加法族, 3828
- σ -コンパクト, 3729, 7035
- σ -有限, 3852
- シグモイド関数, 1509
- 指数, 7922
 - 行列の-, 6943
 - 正則臨界点の-, 6945
 - 多重-, 3800, 4386, 4425, 4485, 4505
 - フレドホルム-, 4836
- 指数型分布族, 2383
- 指数写像, 7003, 7320
- 指数分布, 6236
- 沈め込み, 6969
- 自然数, 2572
- 自然対数の底, 4472, 5077
- 自然直線束, 7478
- 下に有界, 3016, 5173, 5256
- 始点, 7112
- 指標, 4420, 4874
- 射影, 4676, 6826
 - 終-, 4831
 - 初期-, 4831
 - ベクトル束の-, 6928, 7213
- 射影空間, 3328
 - 複素-, 7067
- 射影系, 1683
- 射影変換, 6914
- 射影変換群, 6914
- 斜交リー環, → シンプレクティックリー環
- 写像, 1250
 - 縮小-, 3752, 4316, 4400
 - 線型-, → 線型作用素
 - 等距離-, 4594
 - 微分可能な-, 6912
 - シャッテンクラス, 5340
 - シャッテン形式, 5317
 - シャッテンノルム, 5340
 - 主因子, 7739
 - 終域, 1250
 - 終位相, 6835
 - 周期
 - 微分形式の-, 7680
 - 周期格子, 7805
 - 周期準同型, 7680
 - 終結式, 6095
 - 集合, 1236, 2570
 - 凸-, 4566, 4676
 - 反対称-, 4862
 - 集合族, 1256
 - 集積
 - 集合族の-, 3540
 - 集積する, 3538
 - 収束, 3058, 3270
 - 半径, 4465, 5069
 - 一様-, 4569, 4792
 - 強-, 4347, 4567, 4569, 4792
 - 広義一様-, 3667, 5059
 - 集合族の-, 3540
 - 弱-, 4347, 4567, 4569, 4793
 - 弱*, → 汎弱収束
 - 絶対-, 4464, 5068
 - 超関数列の-, 1183, 4487
 - 超弱-, 4569, 4793
 - $\mathcal{D}(\Omega)$ での-, 1182, 4486
 - ネットの-, 3538
 - ノルム-, 4569, 4792
 - 汎弱-, 4568
 - 収束域, 5085
 - 収束円, 4465, 5069
 - 終点, 7112
 - 周辺確率, 2104
 - 周辺分布, 2145
 - 周辺尤度, 2172
 - 主応力, 8639
 - 縮小, 7443
 - 縮退, 5149
 - 縮退度, 5149
 - 縮約, 7226

- 種数, 7728, 7906
 主束, 7422
 主定理, 2578
 主表象, 7582
 主法線, 6135
 主要部, 5022
 シュレディンガー方程式
 時間依存のない-, 5575
 シュワルツの公式, 6783
 シュワルツの提灯, 6149
 商位相, 3325
 障害, 7825
 商空間, 3325
 昇鎖律, 6645
 商写像, 2815
 商集合, 1247
 商束, 7221
 初期条件, 5405
 初期値問題, 5405
 触点, 3210
 シルベスタ行列式, 6095
 シルベスタの慣性法則, 6943
 芯, 4731
 真空, 4927
 フォック-, 4927
 真性特異点, 7664
 真の分布, 2171
 真の分布に対して最適なパラメータの集合,
 2167
 シンプレクティックリー環, 6403
 信賴区間, 2322
 C^r -級同値, 5854
 C^r -級微分同相, 5854
 C^∞ -級写像, 6912
 C^r -級関数, 6904
 シートの数, 7156
 時間的, 6480
 次元, 4591
 表現の-, 4911
 ヒルベルト空間の-, 4692
 無限-, 4591
 有限-, 4591
 次元解析, 5567
 自己同型, 6991
 事後分布, 2172
 事象, 6223
 次章, 3897
 次数
 表現の-, 4911
 じすう次数, 7739
 事前分布, 2171
 実数, 2572
 実
 微分形式が-, 7781
 実射影空間, 6894
 実表現領域, 7935
 実部, 2961
 微分 1-形式の-, 7781
 自明束, 7220
 弱位相, 3305
 弱 L^p 空間, 6351
 弱解, 7555
 因子の-, 7792
 弱収束, 5919
 弱零点定理, 6664
 従属
 単位の分割に-, 5506
 従法線, 6135
 述語, 1221, 2579
 巡回加群, 6598
 巡回行列式, 6086
 準基, 3238
 準コンパクト, 3471
 順序, 1246, 2660
 順序関係, 1246
 順序群, 6727
 順序写像, 1247
 順序対, 2620
 準素イデアル, 6710
 準素分解, 6713
 準同型, 6405
 *- , 4801
 準同型写像, 6592, 7080
 層の-, 6849
 リー群の-, 7081
 準同型定理, 4329
 準リーマン計量, 6923
 準リーマン多様体, 6923
 自由エネルギー, 2168, 2173
 自由加群, 6597
 自由ハミルトニアン, 5575
 自由変数, 1221, 2580
 自由ホモトピック, 7168
 自由ホモトピー類, 7361
 上界, 3016
 上極限

- 集合列の, 3872
- 条件, 1223, 2580
 - 強い-, 2605
 - 弱い-, 2605
- 条件つき確率, 6274
- 条件付き確率, 2106
- 条件つき期待値, 6274
- 上限, 3016
- 上限ノルム, 3267
- 状態, 2188, 4852
 - KMS, 4857
 - 平衡-, 4857
- 状態空間, 2188
- 上半空間, 5860, 7344
- 上半連続, 6789
- 常微分方程式, 5402
- 乗法的に保型, 7899
- 剰余項, 5686
- 剰余体, 6570
- 除去可能特異点, 7664
- ジョルダン標準形, 5906
- ジングの定理, 7361
- G -加群, 7872
- G -局所自明化, 7874
- G -擬凸, 8102
- G -擬凸開集合, 8024
- 垂直部分空間, 7428
- 推定量, 2211
- 水平曲線, 7445
- 水平部分空間, 7428
- 水平持ち上げ, 7433, 7439
- 数域, 5173
- 数体, 6658
- スカラー-, 2978
- スカラー曲率, 7293
- スカラー三重積, 6075
- スカラー場, 5753, 6162
- スカラーポテンシャル, 6148
- スタイン多様体, 7068, 8100
- スターリングの公式, 2290
- スツルム-リウビル作用素, 5455
- スツルム-リウビルの境界値問題, 5453
- スティルチェス積分, 5272
- スペクトル, 6630
 - 環の-, 5187
 - 近似点-, 5149
 - 真性-, 5184
 - 剰余-, 5149
- 線型作用素の-, 5148
- 絶対連続-, 5185
- 点-, 5149
- 特異-, 5185
- バナッハ環の-, 4874
- 離散-, 5184
- 連続-, 5149
- スペクトル積分, 5244, 5274, 5309, 5311
- スペクトル測度, 5240, 5377
- スペクトル族, 5256
- スペクトル半径, 5203
- スペクトル分解, 5253
- スライス, 6978
- スレーター行列式, 7380
- 随伴素イデアル, 6705
- 随伴表現, 6406, 6409, 7088
- (正則直線束が) 正, 7513
- 整, 6655
- 整域, 6551, 6616
- 正規, 6658
- 正規化, 6658
- 正規化群, 6541
- 正規化された自由エネルギー-, 2168
- 正規化された分配関数, 2168
- 正規型確率変数, 6240
- 正規型常微分方程式, 5404
- 正規座標, 7322
- 正規収束, 3667
- 正規族, 6764
- 正規被覆, → ガロア被覆
- 正規部分群, 6541
- 正規分布, 2144, 6236, 6240
- 整級数, → ベキ級数
- 星形, 5007
- 制限
 - 作用素の-, 4725
- 制限写像
 - 前層の-, 6837
- 制限ホロノミー群, 7442
- 整合的, 6496
 - 向きと-, 5804
- 斉次座標, 3328
- 斉次座標系, 6894
- 斉次方程式, 5458
- 整従属関係式, 6654
- 正準交換関係, 4761
- 正常値, 6941, 6959
- 正常点, 6941, 6959

- 整数, 2572
 整数環, 6658
 生成系, 3829, 4590
 生成元, 4888, 6597
 生成作用素, 5297, 7002
 一径数局所群の-, 7007
 生成される位相, 3238
 生成子, → 生成作用素
 正則, 4308, 4974, 7056, 7824, 7941
 -化列, 4325, 4381, 4489
 ある点の近傍で-, 5023
 各変数ごとに-, 6805
 作用素が-, 4794, 5129
 -測度, 3855
 正則開集合, 7969
 正則拡大, 7966, 8076
 正則関数, 7055, 7058, 7600
 正則関数族に対する正則包, 8076
 正則 (関数論), 4464
 正則型, 7072
 正則座標近傍, 7055
 正則座標近傍系, 7055
 正則写像, 6807, 7055, 7058, 7601
 非自明な-, 7601
 正則性
 解の-, 5626
 正則接束, 7468
 正則切断, 7474
 正則凸, 7971, 8091
 正則凸包, 7970, 8084
 正則同型, 6770, 7601
 正則な部分多様体, 6970
 正則被覆, → ガロア被覆
 正則変換, 7019
 正則ベクトル束, 7471
 正則包, 7969
 正則余接束, 7469, 7883
 正則領域, 7969, 8077, 8082
 正則臨界点, 6942
 正則枠場, 7472
 正值, 4668
 正定値, 4668
 成分, 4303
 ベクトル場の-, 6983
 整閉, 6658
 整閉包, 6658
 正変動, 4103
 積
 集合の-, 1243
 跡, 5851
 積位相, 3295, 3302
 積空間, 3296, 3302
 積集合, 1257
 積多様体, 6897
 積分
 経路-, 4483
 線-, 4982
 汎関数-, 4483
 複素線-, 4983
 フレネル-, 5031, 5037
 積分核, 5359, 5468
 積分可能, 7480
 積分曲線, 6999
 積閉集合, 6563
 接線応力, 8637
 接線方向, 6468
 接空間, 5817, 5842, 5863, 6916
 接束, 6930, 7219
 接続, 5484, 6932, 7231, 7233
 主束上の-, 7428
 接続形式, 7235, 7271, 7429
 接続係数, 7271
 切断, 3329, 6828, 7213, 7882
 大域-, 6829
 切断がなす前層, 6838
 接ベクトル, 5863, 5886, 6916, 6921
 -の成分, 6920
 曲線の-, 6921
 セル分割, 7200
 遷移核, 2190
 遷移行列, 2189
 線型
 -作用素, 4225, 4563, 4578
 -従属, 4675
 -独立, 4590, 4675
 -包, 4686
 反-, → 共役線型
 線型回帰モデル, 2201
 線型空間, 2978
 線型独立, 6575
 線型リー群, 7085
 線積分, 6148
 線束, 7880
 絶対値, 4830
 絶対連続型, 6235
 絶対連続部分空間, 5184

- 零因子, 6616
 零集合, 3852, 6960
 零切断, 6829
 全エネルギー, 5577
 全確率の公式, 2107
 全空間, 6928, 7213
 全射, 1251
 全称命題, 1225, 2580
 全称量化子, 1227, 2576
 前層, 6837
 全体集合, 2604
 全単射, 4438
 全チャーン類, 7454
 全微分可能性, 5656
 全分岐次数, 7760
 全変動
 関数の-, 5271
 測度の-, 4103
 全変動ノルム, 4248
 ζ 関数, 8427
 層, 4329, 6826
 双曲空間, 7340
 双曲計量, 7340
 双曲的非ユークリッド空間, 6924
 双正則, 7059, 7601
 双正則写像, 6807, 7058
 相対位相, 3159
 双対基底, 5791
 双対計量, 7276
 双対性
 ポントリャーギン-, 4454
 双対接続, 7248
 双対微分, 6955
 双対ベクトル束, 7223
 相対的に有限な分散を持つ, 2167
 相転移, 4857
 相等関係, 2659
 層の準同型, 6860
 疎行列, 1650
 束写像, 6932
 測地線, 7318
 測地的完備, 7327
 測度, 3851
 測度空間, 3851
 測度収束, 5919
 束縛変数, 2580
 素元, 6561, 6618
 ソボレフ空間, 8026
 ソボレフの表示公式, 5547
 ソルゲンフライ直線, 3836
 存在域, 5408
 存在命題, 1226, 2580
 存在量化子, 1227, 2576
 像位相, 3160, 3332
 像加法族, 3893
 像測度, 2122
 属する, 2571
 体, 2976
 大域解, 5408
 大域的に生成, 7763
 対角集合, 2659
 対偶, 2576
 滞在時間, 6271
 対称核, 5468
 対称減少再配分, 6293
 対称再配分, 6292
 対称性
 接続の-, 1892, 7274
 対数凸なラインハルト領域, 7935
 対数微分, 7793
 対数尤度関数, 2148
 体積, 5878
 リーマン多様体の-, 7270
 体積形式, 5878, 6445
 体積積分, 6150
 体積要素, 5805, 7270
 対立仮説, 2197
 高々可算, 1253
 互いに素
 集合が-, 1241
 集合に対して, 2608
 多項式
 不変-, 4947
 多項式関数, 6581
 多重円板, 7934
 多重度, → 縮退度, 7144, 7608
 多重劣調和関数, 7983
 たたみ込み, 4371
 群上の-, 4397
 多様体, 5855
 位相-, 5775
 境界つき-, 5860
 径数, 5854
 径数つき-, 5851
 実解析-, 5777
 微分-, 6891

- リーマン-, 5869
- 単位行列, 4303
- 単位元
 - 近似-, 4381, 4407, 4412
- 単一連結, 4988
- 単位的環, 6615
- 単位の分解, 5256
- 単位の分割, 7031
- 短完全系列, 6872
- 短完全列, 6603
- 単元, 6616
- 単射, 1251
- 単純, 5149
- 単純曲線, 6176
- 単純群, 6541
- 単純収束, 3305
- 単体
 - 標準-, 4855
- 単調減少, 3863
- 単調増加列, 3863
- 端点, 4853
- 単独方程式, 5403
- 淡中-クライン双対性, 4455
- 単葉, 6767, 8075
- 単連結, 4988, 7159
- 台, 6702
 - 因子の-, 7793
 - 可測関数の-, 4376, 4485
 - 関数の-, 2972
 - コンパクト-, 3801
 - スペクトル測度の-, 5241, 5252, 5378
 - スペクトル族の-, 5257
 - 微分形式の-, 7684
 - 連続関数の-, 3801
- 第一可算, 3729
- 第一基本形式, 7301
- 代数, 2982, 6654, 6985
 - 外積-, 4928
 - テンソル-, 5789
 - バナッハ-, → バナッハ環
- 代数-幾何対応, 4345, 4623, 4630, 4631, 4856
- 代数関数, 7648
- 代数的, 6585
- 代数的多重度, 6339
- 代数的に独立, 6660
- 第二可算, 3729
- だいかさんこうり第二可算公理, 7035
- 第二基本形式, 7301, 7407
- ダイバージェンス, → 発散
- 大偏差原理, 2055
- 楕円型, 7582
- 楕円型正則性, 5632
- ダフィン方程式, 6009
- ダランベールの微分方程式, 5442
- 弾性, 8642
- 弾性体, 8649
- 断面
 - see 切断, 1
- 断面曲率, 7293
- 値域, 1250, 4643, 4728
- チェイン, 4981, 7795
- チェザロ和, 6131
- 置換, 4908
 - 奇-, 4908
 - 偶-, 4908
- 値群, 6728
- チャート, 5501, 5775, 6890
- チャーン形式, 7242, 7454
- チャーン類, 4947, 7242, 7454
- 中間体, 6584
- 中心
 - 群の-, 6541
- 中心化群, 6541
- 中心化モーメント, 6238
- 中心力, 6171
- 中心力場, 6025
- 忠実, 6593
- 柱状集合
 - see 筒集合, 1
- 柱状領域, 8093
- 中線定理, 4671
- 稠密, 3211
 - に定義されている, 4723
- 超越的, 6585
- 超関数, 7838
- 超曲面, 7300
- 超楕円的, 7761
- 重複度, → 縮退度
- 調和解析, 4398
- 調和関数, 5611, 6778, 7669
 - 強多重劣調和-, 4871
 - 多重劣調和-, 4870
 - 優-, 5611
 - 劣-, 5610
- 調和級数, 8423

- 調和形式, 6457, 7509, 7783
 調和写像, 7404
 調和振動, 5984
 調和振動子, 5984
 直既約, 6715
 直積, → 積, 1243, 2620
 直線, 3019
 枝分かれした-, 1758
 直和, 6404, 6597
 直和位相, 3334
 直径, 3259, 7359
 直交, 4669
 直交行列, 5900
 直交群, 5900, 7086
 直交系, 4674
 完全正規-, 4675
 正規-, 4675
 直交射影, → 射影
 直交リー環, 6403
 対ごとに素, 2608
 対ごとに独立, 6264
 ツォルンの補題, 1258
 筒集合族, 4076
 提案分布, 2194
 定義域, 1250, 4642
 定義関数, 2617
 底空間, 6826, 6928, 7213
 被覆空間の-, 7144
 定数
 最良-, 4399
 リブシッツ-, 4315
 定数層, 6828
 定点, 5257
 テイラー展開, 5014
 テイラーの公式, 7014
 定理, 2578
 アラオグルの, 4634
 アラオグルの-, 4370, 4648
 アーンショーの-, 5628
 $S(\mathbb{R}^d)$ の L^p 稠密性-, 4427
 $L^1_{\text{loc}}(\Omega)$ の超関数への-, 4490
 クレイン-ミルマンの, 4634
 グリーソンの-, 3604
 $C_c^\infty(\Omega)$ の L^p 稠密性-, 4385
 コーシー-アダマルの-, 4477
 三角関数の加法-, 4475, 5080
 ショケー-ピショップ-ド-リュエの-, 4857
 $C_c(\Omega)$ の L^p 稠密性定理, 4323
 C. ノイマンの-, 5127
 準同型-, 2813, 2816, 2821, 2824, 2841, 2871
 スペクトル写像-, 4781
 ソボレフ空間での局所-, 4367
 代数学の基本-, 5062
 稠密性-, 4366, 4441, 4595
 稠密に定義された有界な線型作用素の-, 4441, 4595, 4725
 超関数に対する微分積分学の-, 4500
 二重可換子環-, 4572
 ハルトークスの-, 5092
 バナッハ-アラオグルの-, → アラオグルの定理
 バナッハ-シュタインハウスの-, → 一様有界性の原理
 ヒルベルト空間論の基本-, 4687, 4961
 ヒレ-吉田の-, 4778
 ピタゴラスの-, 4669
 ピーター-ワイルの-, 4398
 不動点-, 3753, 4400
 フレッシュ-コロモゴロフの-, 4393
 フレドホルムのこうたい-, → フレドホルムの択一定理
 フレドホルムの択一-, 5325
 ブランシュレルの-, 4448
 モレイの-, 5539
 モレラの-, 4402, 5026
 有界領域上での多項式環の L^p 稠密性-, 4387
 リウビルの-, 5061
 ルッソ-ダイの-, 4856
 レリッヒ-コンドラシヨフの-, 5553
 ワイエルシュトラスの多項式近似-, 4387, 4408
 点, 2571
 展開
 ローラン-, 5020
 テンション場, 7403
 テンソル, 5789
 テンソル積, 4891, 4892, 5789
 作用素の-, 4935
 対称-, 4917
 代数的-, 4888, 4933
 反対称-, 4917, 5796
 転置, 4302
 点列, 3058

- ディラック作用素, 7526
- ディラックの δ 測度, 3859
- ディラックのブラケット, 4698, 5317
- ディラック複体, 7563
- ディリクレ境界条件, 5453
- ディリクレ条件, 5233
- ディリクレ問題, 7815
- ディンキン族, 3866
- DHR-DR 理論, 4455
- d -系, 3866
- $\bar{\partial}$ -問題の弱解, 8025
- デカルト分解, 4806
- デッキ変換, \rightarrow 被覆変換, 7181
- デッキ変換群, 7181
- デルタ関数, 6168
- 等温座標系, 7907
- 等距離写像, 3269, 7017, 7265
- 等距離的, 7265
- 等距離変換, 7265
- 等距離変換群, 7265
- 統計, 4918
 - フェルミ-ディラック-, 4919
 - ボース-アインシュタイン-, 4918
- 統計的推測, 2091
- 統計的学習, \rightarrow 統計的推測
- 統計的推測, 2171
- 等式
 - パーセバルの-, 4438, 4687, 4961, 5370
 - リース-フィッシャーの-, 4687, 4961, 5370
- 等長埋め込み, 6980
- 等長写像, \rightarrow 等距離写像
- 特異
 - 作用素が-, 4794, 5129
- 特異解, 5407
- 特異型, 6235
- 特異境界値問題, 5475
- 特異単体, 5832
- 特異チェイン, 5832
- 特異点
 - 動く-, 5435
 - 孤立-, 5018
 - 真性-, 5022
 - 除去可能-, 5022
- 特異部分空間, 5184
- 特殊解, 5407
- 特殊線型群, 5899
- 特殊線型リー環, 6402
- 特殊直交群, 5900, 7086
- 特殊ユニタリ群, 5900, 7087
- 特性類, 4947
- 特徴ベクトル, 2200
- 凸
 - 擬-, 4870
 - 正則-, 4870
- 凸集合の台
 - see フェイス, 1
- 凸包, 4853
 - 正則-, 4870
 - 閉-, 4853
- トレース, 4940, 5339, 5750, 6587
- トレースクラス, 5340
- トレースノルム, 5340
- トラス, 2969, 3301, 6897
- 複素-, 7066
- 同型, 6405
 - *-, 4801
 - 層の-, 6849
 - 等距離, 4594
 - 被覆空間の-, 7179
 - ベクトル束の-, 7220
- 同型写像
 - ベクトル束の-, 7220
- 同次, \rightarrow 斉次
- 同時分布, 2122, 2145
- 同相, \rightarrow 同相写像, 3184
 - 微分-, 2933, 3468, 3602, 4298, 4317
- 同相写像, 3184, 4317
 - 局所-, 3199
- 同値, 2658
 - アトラスの-, 6891
 - 因子が-, 7739
 - 距離が定める位相の-, 3258
 - 条件が-, 2605
 - 双有理-, 4403
- 同値関係, 1246, 2658
- 同値類, 2659
- 同等連続, 5418
- 同変, 7423
- 独立, 3899, 6261-6264
- 独立同試行, 6270, 6271
- 独立同分布, 4408
- ド・モルガンの法則, 2616
- ドルボーコホモロジー群, 7471
- ドルボー作用素, 7473

- ドルボーの補題, 6808, 6811
 内積
 双対性-, 4229, 4564, 4577
 半正定値-, 4668
 標準-, 3051
 ミンコフスキー-, 4421
 内点, 3210
 内部, 3210
 内部正則, 3855
 内部積, 4946, 6414
 内部微分, 7872
 内包的記法, 2617
 内容, 6571
 流れ, 8630
 ナブラ, 6161
 軟化作用素, 7551
 軟化子, 4325, 4381, 4490
 二項関係, 1245, 2657
 二項分布, 2141, 6227
 二重周期関数, 7612
 二重否定, 2616
 ねじれテンソル, 7271
 ネット, 3538
 熱核, 4387, 4435, 4452
 熱方程式, 6192
 ネーター加群, 6649
 ネーター環, 6646
 ネーター性
 位相空間の-, 6676
 ノイマン関数, 7708
 ノイマン境界条件, 5453
 ノルム, 3052, 3266
 作用素-, 4015, 4037, 4254, 4564, 4579
 商-, 4589
 準双線型形式の-, 4695
 セミ-, 4517
 汎関数-, 4015, 4038, 4254, 4564, 4579
 リップシッツ, 4315
 ハイゼンベルグリー環, 6400
 排他的論理和, 1229, 2574
 排中律, 2616
 背理法, 2616
 掃き出す, 4310
 発散, 5613, 5754, 6162, 7375
 発散定理, 7376
 波動関数, 5576
 ハバード模型, 4929
 はめ込み, 6969
 等距離的-, 7407
 汎化誤差, 2295, 2370
 汎化損失, 2169, 2174
 半群, 2965
 反交換子, 5341
 反射的, → 回帰的
 反自己双対接続, 7416
 反磁性不等式, 6327
 半順序, 1246
 反正則
 微分形式が-, 7782
 反正則型, 7072
 反正則接束, 7468
 反正則余接束, 7469
 判別式, 6742
 半有界, 5173
 場の作用素, 5144
 π -系, 3866
 π - λ 定理, → デインキンの補題
 パウリの排他律, 4919
 パラコンパクト, 5523, 6854, 7029
 非可算, 1253
 光的, 6480
 引き戻し, 3159, 5823, 6912, 7671
 非結合的代数, 6985
 非縮退, 7922
 非真性特異点, 8058
 歪み, 8640
 非斉次座標系, 6895
 非斉次方程式, 5458
 ひだりいである左イデアル, 6403
 左移動, 7079
 左開区間, 4317
 左手系, 5805, 5948
 左不変ベクトル場, 7079
 否定, 2576
 等しい
 集合が, 1237
 被覆空間, 7144
 正則な-, 7181
 被覆写像, 7144
 被覆に対する基本対称関数, 7639
 被覆変換, → デッキ変換
 被約, 6635
 表現, 4910, 7087
 GNS-, 4700

- ユニタリ-, 4398, 4911
- 標構, 6932
- 標準因子, 7739
- 標準 m -単体, 5832
- 標準 m -立方体, 5832
- 標準正規分布, 6236
- 標準接続, 7475
- 標準束, 7472, 7883
- 標準的, 7144
- 標本, → サンプル, 2091, 6223
- 標本空間, 3897, 6223
- 標本点, 3897
- ヒルベルト基底, 1144, 2118
- ヒルベルト-シュミット型積分作用素, 5359
- ヒルベルト-シュミットクラス, 5340
- ヒルベルトの基底定理, 6651
- 比例限界, 8642
- 非連結, 3411
- ビアンキの恒等式, 7252, 7435
- 微細構造定数, 8569
- 微分, 5684, 5820, 6939, 7659, 7872
 - ガトー-, 4350, 5673
 - 写像の-, 6952
 - 弱-, 4491
 - 超関数-, 4491
 - 左-, 1412
 - 複素-可能, 4974
 - フレッシュ-, 5656
 - 方向-, 5673, 5689, 6917
 - 右-, 1412
- 微分可能, 5655
 - 複素-, 4464
- 微分形式, 5819, 5865, 7662
- 微分係数, 4974, 5656
- 微分構造, 5777
- 微分作用素, 5656, 6985
- 微分同相写像, 6913
- 微分に対して閉じている, 8084
- 微分表現, 7087
- ピアソンの χ^2 統計量, 2347
- ピオラ-キルヒホッフ応力, 8650
- ピカル群, 7808
- ピカルの小定理, 6756
- ピユーズ-級数, 7654
- p 次平均収束, 6243
- P -準素イデアル, 6711
- p 値, 2320
- ϕ 関係, 6993, 6994
- ϕ 射影, 6994
- ファイバー-, 6826, 6928, 7180, 7213
- ファイバー計量, 7256
- ファイバー束, 6927
- ファン・ホーウエの極限, 4363
- フィッシャー情報量, 2409
- フィッシャーの極限, 4363
- フィッシャーの非心超幾何分布, 2344
- フィルター基底, 3553
- フェイエールの定理, 6130
- フェイス, 4852
- フェルミオン, 4918
- フォン・ノイマン-シャッテンクラス
 - see シャッテンクラス, 1
- フォン・ノイマン-シャッテン積, 5317
- 不確定特異点, 8058
- 複素化, 6490, 7049
- 複素解析, → 関数論
- 複素共役, 2961, 7781
- 複素局所座標系, 7056
- 複素構造, 7071, 7481
 - 実線型空間に対する-, 7049
- 複素数, 2573
- 複素整数, 2957
- 複素多様体, 6891, 6892, 7051, 7055
- 複素部分多様体, 7067
- 複素ベクトル場, 7075
- 複体
 - CW-, 7201
 - セル-, 7200
- 含まれる, → 属する, 1237
- 符号, 4307
 - 置換の-, 4908
- 符号数, 6943
- 付値, 6728
 - アルキメデスの-, 4627
 - 乗法的-, 4627
 - 正規-, 4628
 - 非アルキメデスの-, 4627
 - p 進-, 4628
- 付値環, 6722, 6727
- 縁付け行列式, 6086
- フックの法則, 8641
- 不等式
 - 一般化されたヘルダーの-, 3995
 - 強三角-, 4627
 - コーシー-シュワルツの-, 4670
 - コーシーの-, 5016

- ゴールデン-トンプソン-, 4948
- 内挿-, 5536
- ヘルダーの-, 3994
- ベッセルの-, 4685
- ポアンカレ-ウィルティンガーの-, 5554
- ミンコフスキーの-, 3995
- 不動点, 3752, 4400
- 負の二項分布, 6228
- フビニ-スタディ計量, 7493
- 不分岐, 7617
- 普遍集合, 2604
- 不偏推定量, 2079
- 不変多項式, 7449
- 負変動, 4103
- 普遍被覆空間, 7159
- 不変部分空間, 5334
- フリードリクスの軟化作用素, 7550
- フリードリクスモデル, 5140, 5184
- フレッシュ空間, 7845
- フレドホルムの第一種積分方程式, 5467
- フレドホルムの第二種積分方程式, 5468
- 不連続, 5289
- 不連続型, 6235
- フロー, 6914, 7001
- フーリエ
 - 変換, 4444
 - 変換, 3792, 4088, 4397, 4444
 - $L^1(\mathbb{R}^d)$ に対する-変換, 4422
 - $L^1(\mathbb{R}^d)$ に対する-変換, 4421
- 物質座標, 8649
- 物質の安定性, 4919
- ぶっしつりゅうし物質粒子, 8622
- 部分位相空間, 3160
- 部分加群, 6592
- 部分環, 2971
- 部分空間
 - 生成される-, 2611
- 部分群, 2967, 6537
- 部分集合, 1237, 2571
- 部分集合族, 2573
- 部分束, 7443
- 部分体, 6584
- 部分多様体, 6970
- 部分ベクトル束, 6931, 7220
- 部分リー環, 6396
- ブロック行列, 5897
- ブロック対角行列, 5897
- ブローアップ, 6900
- 分割表, 2337
- 分岐次数, 7760
- 分岐点, 7617
- 分数環, 6687
- 分数積分作用素, 6300
- 分配関数, 2168, 2172
- 分布, 2122, 3902, 3907, 6226, 7094
- 分布関数, 2138, 3900, 3907, 6230
- 分布収束, 5920, 6244
- 分母のイデアル, 6730
- 分裂完全列, 6604
- ブール代数, 2609
- 閉埋め込み, 3222
- 平均曲率, 7308
- 平均曲率ベクトル場, 7412
- 平均誤差関数, 2169
- 平均対数損失関数, 2166
- 平均対数尤度, 2378
- 平均値不等式, 5632
- 閉形式, 5828, 7669
- 平行移動, 6913, 7255
- 平行 $2m$ 面体, 5810
- 閉写像, 3221
- 閉集合, 3054, 3210
- 閉多様体, 6970
- 平坦, 7240
- 閉部分多様体, 6970
- 閉包, 3210
 - 作用素の-, 4733
- 平方根, 4830
- 平面, 3019
- 閉リーマン面, 6892
- ヘッシアン, 5640, 6942, 7921
- ヘルダー空間, 5543
- 変位, 8640
- 変位ベクトル, 5958, 8625
- 変換
 - ゲルファント-, 4874
 - へんかんかんすう, 7423
 - 変換関数, 7213
 - 偏極恒等式, 4671
 - 変形レトラクト, 7206
 - 偏微分, 5675
- 変分
 - 曲線の-, 7354
 - 写像の-, 7402
- 変分ベクトル場
 - 曲線に対する-, 7354

- 変分法, 4346, 5572
 変分法の基本補題, 4361
 ベイズ自由エネルギー, 2397
 べき級数展開, 5014
 べき集合, 1254, 2617
 べき零, 6616
 べき零根基, 6635
 べき等, 6616
 ベクトル
 -の規格化, 4669
 外法線-, 5872
 ケット-, 4698
 四元, 4421
 単位-, 4669
 ブラ-, 4698
 法-, 5870
 ベクトル空間, → 線型空間
 ベクトル三重積, 6077
 ベクトル積, 5767, 5806
 ベクトル束, 6928, 7212, 7879
 同伴する-, 7424
 ベクトル場, 5753, 5818, 5864, 5886,
 6162, 6930, 6983, 7219
 ベッセル関数, 7707
 ベッチ数, 7789
 ベルヌーイ試行, 2139
 ベルヌーイ分布, 2140
 ベータ関数, 6118
 ベータ分布, 2144
 ベール集合, 3854
 ベール集合族, 3854
 ベール測度, 3854
 ペロン類, 7824
 ホイットニー和, 7224
 方向余弦, 5951
 包合的, 7094
 法線, 5870
 法線応力, 8637
 法線方向, 6468
 法則, 3902, 3907, 6227
 法則収束, 5920, 6244
 方程式
 発展-, 4779
 方程式系, 5403
 法として合同, 2660
 法ベクトル空間, 5870
 保型因子, 7681, 7696, 7873
 補集合, 1242, 2614
 保存力場, 6148
 補題, 2578
 デュボア-レイモンの-, 4361
 ボレル-カンテリの-, 1556
 ボレル-カンテリの第 2-, 1557
 ホッジ作用素, 6442
 ホッジ双対指数, 6442
 ホッジ分解, 7510
 ホッジ-リーマン対, 6517
 ホップ多様体, 7066, 7511
 ほとんどいたるところ, 3852
 ほとんど確実, 6223
 ホモトピック, 7112
 0 に, 7126
 道として-, 7125
 ホモトピー, 7113
 ホモトピー逆写像, 7117
 ホモトープ, → ホモトピック
 ホモログス, 7795
 ホモロジー
 単体の-, 4855
 ホモロジー群, 7795
 ホモロジー, 4987
 補有限フィルター, 3551
 ホロノミック基底, 1817
 ホロノミー群, 7442
 ホロノミー部分束, 7446
 本質的値域, 5155
 母集団, 2091
 ボソン, 4918
 ボルテラの第一種積分方程式, 5467
 ボルテラの第二種積分方程式, 5467
 ボレル可測関数, 3884
 ボレル可測空間, 3831
 ボレル関数, 2537, 3884
 ボレル関数カルキュラス, 5244, 5278
 ボレル集合族, 3831
 ボレル測度, 3854
 ポアソン核, 6312, 7816
 ポアソン効果, 8642
 ポアソン積分, 7816
 ポアソンの公式, 6783
 ポアソン比, 8643
 ポアソン分布, 6235
 ポテンシャル, 5576
 ポテンシャルエネルギー, 5577
 ポントリャーギン形式, 7459
 ポントリャーギン類, 7459

- ポーランド空間, 3738
 摩天楼層, 7741
 マルコフ連鎖, 2189, 2190
 マルコフ連鎖モンテカルロ法, 2193
 右移動, 7079, 7089
 右作用, 7089, 7261
 右手系, 5805, 5948
 道, 7122
 道リフト性, 7153
 ミッター-レフラー分布, 7749, 7769
 密度関数, 6235
 見本
 see 標本, 1
 ミンコフスキー時空, 6479
 無縁和, 2610
 向き
 線型空間の-, 5804
 多様体の-, 5866
 単純閉曲線の-, 4977
 標準的な-, 4978
 向きづけ可能, 5866, 7460
 向きを保つ写像, 5867, 5874
 無限遠で消える, 5584, 6292
 無限集合, 1253
 無限小生成子, → 生成作用素
 命題, 1221, 2578, 2579
 メビウス変換, 5291
 面積分, 6149
 面素, 5878
 目標分布, 2193
 モジュライ空間, 7417
 持ち上げ, 7148
 モノ, 6872
 モノイド, 2965
 モンスター, 6542
 モンテルの定理, 6763
 モース関数, 7922
 モースの定理, 6948
 モーメント, 6146, 6238
 ヤコビアン, 4314
 局所座標に対する-, 5868
 ヤコビ恒等式, 6397, 6989
 ヤコビ多様体, 7808
 ヤコビ場, 7364
 ヤコビ方程式, 7364
 ヤング率, 8642
 ヤン-ミルズ接続, 7415
 ヤン-ミルズ汎関数, 7413
 有界, 3016, 3054, 3058, 3259, 5257
 準双線型形式が²-, 4695, 4795
 有界変動, 5271
 有限階作用素, 5316
 有限加法族, 3827
 有限加法的, 3849
 有限交差性, 3540
 有限集合, 1253
 有限生成, 6597, 6654, 6660
 有限測度, 3851
 有限表示, 6597
 優対角行列, 1656
 尤度, 2296
 誘導位相, 3307
 誘導された向き, 5873
 尤度関数, 2148, 2378
 有理型関数, 7603, 8058
 有理型切断, 7887
 有理数, 2572
 有理数体, 2959
 有理整数環, 2957
 ユニタリ行列, 5899
 ユニタリ群, 7087
 ユニタリ同値
 作用素の-, 5164
 ユニタリ表現, 5296
 ユニタリ不変性, 5165
 ユニタリ不変特性, 5165
 ユニタリ不変量, 5165
 ユニタリ変換, → ユニタリ作用素
 ユークリッド位相, 3156
 ユークリッド空間, 3052, 6923
 ユークリッド計量, 7300
 ユークリッド内積, → 標準内積
 余因子, 5729
 -展開, 5730
 要素, 2570
 see(集合の)元, 1
 余核, 6603
 余次元, 5724
 余接空間, 5819, 6924, 7659
 予測誤差, 2293
 予測分布, 2172, 2295
 余微分作用素, 6450
 ライプニッツ則, 5665, 6916
 ベクトル場の-, 6985
 ラグランジュ記述, 8620
 ラグランジュ座標, 8624, 8649

- ラグランジュ乗数, 5727
 ラグランジュ表現, 8624
 ラゲール多項式, 4701
 ラッセルのパラドクス, 2631
 LASSO 正則化法, 2361
 ラドン測度, 3855
 ラブラシアン, 4521, 4697, 6456, 6778, 7485
 一般化された-, 7590
 ラベル座標, 8623
 λ -系
 seed-系, 1
 ランダウの記号, 4973, 5655
 リウビルの定理, 7611
 離散距離, 3260
 離散固有値, 6339
 離散スペクトル, 6339
 離散的
 写像が, 7181
 離散付値, 6721
 離散付値環, 6722
 リッチ曲率, 7293
 リッチ形式, 7499
 留数, 5025, 7664
 ミッタク-レフラー分布の-, 7749
 流体粒子, 8623
 領域, 4976
 強擬凸-, 4871
 擬凸-, 4871
 量化記号, \rightarrow 量子化
 量子化, 2576
 両立, 5776, 6890
 両立性
 接続の, 1892
 接続の-, 7274
 理論
 ショケー, 4857
 スペクトル-, 3171, 4398, 4558, 4569, 4851, 5115
 富田-竹崎-, 4787
 臨界値, 6941, 6959
 臨界点, 6941, 6959, 7921
 リンデレーフ空間, 7035
 リー括弧積, \rightarrow 交換子積, 7080
 リー環, 6396, 6991, 7080
 リー群の-, 7081
 リー環の表現, 6409
 リー群, 7079
 リースの表現定理, 4682
 リー微分, 6418, 6426, 6429
 リーマン球面, 7066
 リーマン曲率テンソル, 7282
 リーマン計量, 6922, 7264
 リーマン多様体, 6922
 リーマン-フルビッツの等式, 7760
 リーマン面, 6892, 7599
 類
 ポントリャーギン-, 4947
 累積分布関数, \rightarrow 分布関数
 ルジャンドル多項式, 4701
 ルベーク-スティルチエス積分, 5272
 ルベーク測度, 3857
 ルレイ被覆, 7713
 ルンゲ, 7832
 ルンゲ対, 8044
 ループ, 7122
 零因子, 6702
 零化イデアル, 6702
 零環, 2971
 振形式, 7093
 零点, 5063, 6941
 レイヤークーキ表現, 4066
 レゾルベント, 5122
 -集合, 5122
 劣調和, 6792, 7821
 劣調和不等式, 6795
 レトラクション, 3187
 強変形-, 7206
 変位-, \rightarrow 変形レトラクション
 変形-, 7205
 レナード=ジョーンズポテンシャル, 5578
 レビ形式, 7983
 レビ-チビタ接続, 7274
 レビの問題, 8000
 レフシェッツ作用素, 6502
 レフシェッツ分解, 6511
 レベル集合, 5155
 連結, 3411
 連結準同型, 6876
 連結成分, 3429
 連鎖律, \rightarrow 鎖則
 連続, 3076
 下半-, 3478, 4346, 4347
 局所リブシッツ-, 4315, 4318, 4330
 上半-, 3240, 3478
 右半-, 3240

- リプシッツ-, 3707, 4148, 4315, 4330, 5414
連続関数, → 連続写像, 3076
連続関数カルキュラス, → 作用素解析
連続写像, 3076, 3178
連続体, 8619
連続体濃度, 2925
連続代表元, 5495
連続の方程式, 6191
連立方程式, 5403
レート関数, 2055
ロルニックノルム, 6339
ロルニックポテンシャル, 6339
ロンスキアン, 5456, 7772
論理積, 1229, 2576
論理和, 1229, 2576
ローテーション, → 回転
ローラン級数体, 7653
ローレンツ計量, 6479, 7338
ローレンツ変換, 6482
ワイエルシュトラス点, 7774
ワイツェンベックの公式, 7388
ワイル量子化, 5231
枠束, 7428, 7444
枠場, 7217
和集合, 1241, 2610
ヴァンデルモンドの行列式, 6086
コーシー列, 3684
シャノン情報量, 2370
リーマン多様体, 7264
ルベグ-スティルチェス測度, 6231
ヴェイユ準同型写像, 7450
ヴィタリの定理, 6767
分布, 6226
分数体, 6616
単位の分割, 5506
実現可能, 2166
展開
 テイラー-, 4410
引き戻し, 7227
除去可能特異点, 8058