

## 0.3.6 環境の大切さ：中高数学駆け込み寺から

[【目次へのリンク】](#)

### 目次

0.3.6.1	はじめに	363
0.3.6.2	第 1.5 回 「数学の勉強が辛い」 / 中高数学駆け込み寺	363
0.3.6.3	第 2.5 回 「雑な理解」も大切です / 中高数学駆け込み寺	367
0.3.6.4	第 3.5 回 食べやすい分量で / 中高数学駆け込み寺	370
0.3.6.5	第 4.5 回 なぜ数学の勉強が辛いのか / 中高数学駆け込み寺	372
0.3.6.6	第 5.5 回 勉強が続けられない / 中高数学駆け込み寺	374
0.3.6.7	第 6.5 回 一人で勉強するのはしんどい / 中高数学駆け込み寺	377
0.3.6.8	第 7.5 回 文系の数学 / 中高数学駆け込み寺	383
0.3.6.9	第 8.5 回 習慣の力と習慣化のための四つの秘訣 / 中高数学駆け込み寺	389
0.3.6.10	第 9.5 回 プログラムの数学：遊びのとっかかりを作ろう / 中高数学駆け込み寺	393
0.3.6.11	第 10.5 回 覚悟のすすめ / 中高数学駆け込み寺	396
0.3.6.12	節終了	398

### 0.3.6.1 はじめに

これは無料の通信講座, [応用からの中高数学再入門 自然を再現しよう](#)で配信していた勉強法の転載版です. 書き直そうと思いつつあまり手を加えられていないので, 単独で見るとおかしな文章もあるかもしれません. 本質的な内容だけ見るようにしてください.

### 0.3.6.2 第 1.5 回「数学の勉強がつらい」／中高数学駆け込み寺

#### 0.3.6.2.1 はじめに

初回のコンテンツは確認したでしょうか? あなたがまだ見ていないなら必ず見てくださいね. 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です. 通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね.

リンク先のページに PDF も置いてあります. 必要なら印刷して読んでください.

- [はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回](#)

各回の合間には数学の勉強を続けていくために 大事な情報や心構えをお話していきます.

この講座の募集ページでも お話したこととも重複しますが, 本編と同じくらい大事なので, ぜひきちんと読んでください.

#### 0.3.6.2.2 数学の勉強のつらさその 1: 全体像が見えない

この講座に参加した目的はいろいろあると思います. この講座に参加された以上, 何はともあれ数学の勉強をしようと思っっているはずで.

そして, 数学の勉強はつらいのだろうとも思います. 今回はこの問題について少し突っ込んで考えます.

もしかしたらあなたは「いや, 数学の勉強楽しいよ!」と思っいらっしゃ

るかもしれませんが。しかし、つらいと言ってもいろいろあります。例えば中高の頃の私は確かに数学は好きで、それこそ毎日の勉強時間はほぼ全て数学に費していました。ニュースではノーベル物理学賞受賞といった明るい話題も見かけます。数学にももっとすごい話があるのだろうと思っていても、では具体的にどんな話があるのか、どうするとそうした情報に触れられるのかよくわからず、いつもどこかしらに不満がありました。

もっと面白いことはたくさんあるはず。しかし、どうすれば出会えるのか・見つけられるのかわからない。誰にどう聞けばいいのかもわからない。この不満をどう処理すればいいんだろう？

こんな感じです。

これを一言で言うなら、数学の世界全体が見渡せないのです。中学の数学・高校の数学・受験の数学ならいろいろな情報が探せます。しかし、物理や化学、医学、生理学などに比べて、ノーベル賞のような最先端のすごい話に簡単に触れられるかといえば、そんなことはありません。これが私が抱えていた数学の勉強のつらさの一つです。

もちろん、あなたはもっと単純に、本を読んでいても何を言っているのか全然わからなくて困っているのかもしれませんが。これも私が現在進行形で抱えている悩みです。次はこの問題を考えてみましょう。

#### 0.3.6.2.3 指導法: スポーツを例に

少し話が変わりますが、指導法という観点から考えてみましょう。実は私は昔から柔道をやっています。近所の道場で子ども達に柔道を教えたりもしています。それを見ていて思うことがあります。

柔道はオリンピックの試合が YouTube に上がっていたりもしますし、一流の技術が簡単に見られます。そしてそれがすごいことは子どもにもよくわかります。

子どもにも明確な目標が具体的に描けるわけです。そして「あんなふうになりたいならこんな練習が必要で、そのためにはさらにこんなことが必要で

…」という練習の順序も示せます。実技指導できるので、「実際にこうやってみると本当に技が効く」ことも肌で感じさせてあげられます。

そして数学はこういうコンテンツが少ないのです。それが一つ、とても大きな問題だとずっと思っています。目標をどこに設定したらいいのかわからないから、そこへの経路も思い描けず、いまやっていることが何につながっていくのかが見えません。

中学・高校で特に女子学生から「これは何の役に立つんですか?」「いまやっていることが何にどうつながるのかわからなくてつらいです」というのを良く聞きます。これは中学・高校の学習内容でさえ何がどうつながるのかわからないこと、そしてその内容が社会の中で実際に何にどう活かしているのかわからない二つの側面があります。他にも、具体的な勉強の指針として、わからなくても他との関係が薄いからいったん飛ばしておいても問題ない分野である、先まで行って応用を見て使い方の感覚を掴んでから戻ってきた方がいい分野である、といったこともあります。そうした全体像が全く見えません。

#### 0.3.6.2.4 物理学科での数学

私は学部が物理で修士から数学科でした。その視点から物理学科での数学に関して簡単に大枠を紹介します。最低限の数学ができないと物理の話が全然できません。そのため学部一年はほぼ数学です。教養の数学としての微分積分・線型代数はいいとして、私が所属していた早稲田の物理では、ベクトル解析が物理学科専用の講義として組まれていました。演習系の講義では微分方程式もありました。教養の力学でも線型・非線型含めた常微分方程式を解きます。

二年からようやく少しずつ物理が入ってきます。しかし使う数学も平行で勉強していく必要があり、それがなければ基本的な計算もろくにできません。早稲田の物理で具体的に言うと、常微分方程式の理論・解法、具体的な線型偏微分方程式の解法、関数論（複素関数論・複素解析）がメインです。偏微分方程式の解法としてフーリエ変換なども入れています。一年次と同じく演習

系の講義もあります。きちんと演習しないとできるようにならないからです。

一通りの数学の理論と基本的な演習を終えると三年になっています。そこまで使った数学をフルに活用して量子力学に挑みます。これは物理もさることながら数学・計算が本当にハードで、ここまでどれだけがんばって演習を重ねてきてもまるで足りないほど、厳しい世界です。

学部四年になって研究室配属になるくらいで、ようやく落ち着いて物理に集中できるようになるか、と思いきや、人によっては相対性理論のために微分幾何が必要だったり、素粒子系も相対論的場の量子論で群の表現論をはじめとしてハードな数学が必要だったり、人によってはまだ数学が続きます。最近では物性理論でも素粒子で使うような幾何が必要になってきつつあり、理論系では無限の数学地獄が広がっています。

「物理のための数学」に限っても、物理学科のカリキュラムを見れば何となく分野名くらいはわかるでしょう。しかしそれら数学としての関連はもちろんのこと、物理の中でどう生きているのかもわかりません。

例えばベクトル解析が具体的にどの分野でどう使われているか、実際に物理をやってみないことにはわからないでしょう。ベクトル解析は電磁気や量子力学はもちろんのこと、流体力学や連続体の力学、相対論などありとあらゆる物理で使われています。

だからそのあたりの一連の流れにフォーカスしたコンテンツが必要だと思っていて、そのためにこの講座を組んでいます。(ちなみに第一弾は量子力学に使う数学という視点から、学部四年分の解析学をまとめた現代数学観光ツアーという講座でした.)

あなたが数学の細かいところがわからなくて苦しんでいるなら、まずは大きな風景をきちんと掴むようにしてみてください。上で書いたようなレベルでさえ知らない人が多く、具体的なイメージが描けず苦しんでいる人がたくさんいます。

#### 0.3.6.2.5 山登りのことを考えよう

山登りではよく「見晴らしのいいところに来るとそれまでの苦勞が報われた気分になる」という話が出ます。そもそも見晴らしがいいところがあることを知っているからこそ、山登りをしているという人もいるはずですよ。まずは見晴らしのいいところがあることそれ自体を知ること、そして数学の世界を大きく眺めることを目標にしてみてください。参考文献集では数学に関する小説や数学者の心模様が伺えるエッセイも紹介しています。単純に数学する以外の楽しみを見つけてみるのも大事ですよ。

あなたが第一回のコンテンツをまだ見ていないなら、軽くでいいので眺めてみてください。もう読んだとしてももう一回見てみてください。

細かいところはそもそも説明していないのでわからなくて当然ですよ。まずは大きな姿を掴むようにしてください。

最後にもう一度、初回コンテンツのリンクを張っておきます。

- [はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回](#)

### 0.3.6.3 第 2.5 回 「雑な理解」も大事です / 中高数学駆け込み寺

#### 0.3.6.3.1 はじめに

第二回のコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量ですよ。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- [はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回](#)
- [厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回](#)

今回は「雑な理解」の効用についてお話します。

### 0.3.6.3.2 雑な理解とは何か

ふだん私は「雑な理解はよくない」とよく言っています。あなたがそうした私の発言を見たことがあるなら、「いつもと言っていることが違う」と思うかもしれません。「雑な理解」という言葉の使い方自体が雑なので、もう少しこの言葉の説明をします。

講座の紹介ページでも書いたように、要は大きな姿を捉えてほしいということです。

何でもそうですが、目の前のことばかりに集中していると、ふとした瞬間に「自分は何でこんなことをしているのだろう」と冷静になることがあります。

この手の冷静さは割と危険で、そう思った瞬間に緊張の糸が切れてしまって、熱中できなくなることがあります。特に心のどこかで「これやっていて意味あるのかな?」と思っていたりすると一気に気持ちが傾きます。

そういうのを避けるためにも こんな目標があって そのためにいまこれをやっている、そういうのをきちんと意識した方がいいですね。

ちょっと話がずれますが、物理で粗視化 (coarse graining) という概念があります。これはいくつかのノーベル賞にも関わる話、相転移や繰り込みで大事な概念です。

大雑把に見ることで細かい部分をあえて潰し、全体的な様子を捉えるための手法です。ちゃんとした使い方をすれば、学術的にも大事なことに昇華させられます。

あとふつうの意味で「雑に理解」することも大事なことはよくあります。

バリバリの専門的な内容を扱っている通信講座、現代数学探険隊でも何度も強調していることとして、「よくわからないことだけ把握して先に進む」という勉強法を紹介しています。

そのときにどうしても理解できないことがあります。1週間経っても1ヶ月経ってもわからない、そんなことは本当によくあります。

でも勉強を続けていけば、二年くらいしたあとに ふとそれを考えてみたら

何の苦労もなく理解できた、そういうこともあります。

このまま正しい方法で地道に続けていけば、二年も経てば何とかなるだろう、そう思って適当にやりすごしておくのも一手です。

私の事例も紹介しましょう。私は学部が物理でしたが、学部二年の夏休み、代数の勉強をしていたことがあります。

とりあえず一冊通して読み切りはしましたが、細かい証明は終えても準同型定理が何なのか全くわからず「何なんだろうこれ」とずっと思っていました。

学部四年で数学科に進学することを決めたとき、分野としては作用素環で多少の代数も必要だから、軽く代数も復習しました。そのときは準同型定理が本当に自然で 当たり前になり立つくせに恐ろしく強力な定理なのだ、ということが自然と納得できて、あとで考えたとき「何だこの感覚の変化は」と不思議な気分になったことがあります。

他にもこんなことがありました。論文を読んでいて八行程度の計算があり、途中の一行でわからないところがありました。

三時間くらい唸って「もういい、諦める」と思って少し先を読んだところ、その計算のすぐあとに「四行目の計算はこのように考えればいい」という短いコメントがありました。そのコメントですんなり理解できたのですが、「この無駄にした三時間は何だったんだ」とがっかりしたことがあります。

本のちょっと先に「答え」が書いてあることもよくあります。何だかよくわからない定理の様子がよくわかる具体例が先のページに書いてある、そんなこともよくあります。

「よくわからないけどまあいいか」と 適当にやり過ごすのが大事な局面は本にあるので、うまいこと使いわけてください。

「この理解は明らかに雑だから」とさえ思っておいて、それをきちんと理解しているなら、その状態のまま進めてもいいのです。

ここまで出したコンテンツは次の通りです。一回一回は短いので数分で読めると思います。通勤通学の合間のような隙間時間に読んでみてください。



- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回

ではまたメールします。

#### 0.3.6.4 第 3.5 回 食べやすい分量で／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回

今回は募集ページでも説明した、分厚い本を読むのはつらいという話をします。

ふつう分厚い本はそれだけ説明が丁寧です。数学はわかりづらい、わかりづらいとよく言われます。

それに合わせて懇切丁寧な本があり、600 ページを越える本もあります。参考までに何冊か買ってみましたし、確かに本当に基本的な内容を こってり丁寧に説明しています。

高校受験用に中学三年生の子に 貸してあげたら、それを見た中学生一年の女の子が「説明が丁寧でわかりやすい！」とかなり気に入ったようです。

そのままその子に貸してあげました。500 ページくらいあるのに鞆に入れて学校にも持っていると聞きました。

ただ、そういう本を大人が読むのは つらいこともあるでしょう。確かに読み進めやすいけど、分厚いから「まだこんなにある…」みたいな感じになるようなのです。

本だから厚さはわかりますし、形式的には「いまこの辺にいる」というのはわかります。しかし数学的な理解の度合いが 読んだ量に比例するとは限りません。

特に微分積分はふつう本の後半に回ります。で、ここがリベンジのメイン、そんな方も多いです。文系で経済や統計学でも良く使いますからね。

そこに来るまでに挫折してしまうと、逆に絶望感が深まるのではないかと、そう思っていて、そこへの対策は立てておいてほしいです。この講座はその問題に対する私からの回答です。

ちょっと余計な話もしましたが、大事なことは、分厚いのを一所懸命最初から アタックしていくのではなく、

ある程度の食べやすい分量で 毎日少しずつ進むのが大事なのではないか、そういう狙いに基づいて通信講座にしています。

手元に分厚いがあると、ついつい頑張ってしまう人がいます。

そして最初のペースが保てなくなってくると、勉強自体は続けているのに「最初は頑張っていたのに」と 必要以上に自分を責めてしまって、やる気がなくなる、あなたにもそんな記憶がないでしょうか？

だからもう一定以上進めないように、そして一回の分量は少なめにして 配信して行って、強制的に私の方から ペースを作っていくことにしました。

「この形式いいな」と思ったら ぜひコメントください。もっと本格的に展開していこうと思います。

もう一度ここまでのコンテンツへの リンクを載せておきます。

一回一回は短いですが、通勤通学やお昼休みなどの隙間時間に さらっと眺めてください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回

ではまたメールします。

### 0.3.6.5 第 4.5 回 なぜ数学の勉強がつらいのか／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回

今回は次の問題を考えてみましょう。なぜ数学の勉強がつらいのか？

募集ページでも書いたように、まず数学科の学生であっても 数学の勉強には難所がつきものであることを まず理解してください。

理解する喜びはもちろんあります。しかし常に知らない世界に 切り込んでいくのが勉強です。楽なことばかりではありません。

だからこそ募集ページでも「冒険」という言葉を使いました。

その冒険の旅で出くわす難所を突破するため、大学をはじめとした組織に属して 仲間を作って苦しみをわかちあい、教官のような自分の先を進んでいる人に 指導を仰ぐわけです。

こうした環境面の整備ももちろん大事です。しかしそれは後でお話することにして、今回は視野に関する話をします。

あなたはどんな目的で数学、特に中高の数学を勉強しようとしているのでしょうか？ 見ている限りこれが明確ではない人が多いです。

「いや、自分は物理を勉強しようとしていて、そのために微分積分を勉強しようとしているんだ」

あなたはこう思っているかもしれません。では物理というのはどんな物理

でしょうか？ その物理をやる上で具体的にどんな数学が必要か理解しているのでしょうか？

その数学を勉強するのに向けて、中高の数学のどんなところをどのくらいやれば、どのくらい理解すればいいかを理解しているのでしょうか？

以前「相対論をやるために数学が必要で、数学をやりはじめたが集合論や位相空間論を勉強したい」と言ってきた方がいました。

一般相対論をやるにしる、集合や位相空間を勉強よりも もっとやるべきことがあるだろう、と思いつつ、どうしてもというので私自身がやっている集合論や位相空間論の通信講座を勧めました。本はいくつか持っているようだったので。

ある程度全体を知っている人から見ると「いや、それは違うよね」というのはよくあります。

あなたも自分の仕事に関して、全然関係ない「素人」さんが何か言っているのを見て「この人全然わかってないな」と思うことはないでしょうか？ そういう感じです。

ここで問題になるのは、やはり全体像を理解しているかです。

~~~~~  
変なところに迷い込むと 抜け出せなくなることもあります。

きちんと見通しや全体像を持ってほしいと思っています。この講座も微分方程式という観点からの 数学の見通しをお見せするのが目的です。

中高の数学だけの視野ではやはり狭いですし、何よりもっと物理をやるのに必要、このあとに大学の数学をやりたいという方がため、そこまで意識した内容にしています。

いくら全体像が大事と言われても 微分方程式はちょっと興味ない、あなたはそう思っているかもしれませんし、他の分野、例えば整数論に興味があるのかもしれません。

他の方や企業がカバーしていることもありますし、私のここまでの活動でいくつかカバーしていることはありますし、今後もやっていこうとしていることはたくさんあります。

何か要望があればぜひお伝えください。先ほどの相対論がやりたかった方のように、既に作っている講座があればそれをご案内しますし、適切な本やコンテンツがあればそれをご案内しますし、いい他社サービスがあればそれをご案内します。

数学を一人で勉強している方は多いです。あなたもそうかもしれません。私も大学院を出て数学や物理の話ができる人が少なくなり、それに不満があつてこうした活動をはじめました。

オンラインオフライン問わず、身の回りに数学や物理、その他学術関係の話ができる「友達」をもっと増やすべく活動しているというのは私にとっても本当に正直で率直なところです。

アンケート回答なり不明点の質問なり、私をもっと活用してください。できることはやるし、面白いことは今後の予定に組み込みます。

派手なことをしてもブームで終わってしまいます。地道に数学や物理の輪を広げていきましょう。

ここまで出したコンテンツは次の通りです。一回一回は短いので数分で読めると思います。通勤通学の合間のような隙間時間に読んでみてください。

- [はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回](#)
- [厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回](#)
- [経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回](#)
- [微分方程式に関するここまでのまとめ / 中高数学駆け込み寺 第四回](#)

またメールします。

### 0.3.6.6 第 5.5 回 勉強が続けられない / 中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ / 中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第五回

今回は次の問題を考えてみましょう。数学の勉強が続けられないのは何故か?

理由はいくつか考えられます。中高生の事情から大人の事情までいろいろです。例えば中高生だと次のような感じでしょうか?

- 数学が嫌いだとにかくやりたくないから。
- 数学をしても面白くないから。
- 数学をしてもわからないことばかりで どんどん気持ちが萎えてくるから。
- いま勉強していることが 何の役に立つかわからないから。

最後の理由はいま勉強していることが 将来何に繋がるかわからない、つまり全体像が見えないし、応用先が見えないから役に立つように 見えない、という問題も含みます。

「中高生の頃はこんなふうに思っていた」、あなたはそんなふうに思っているかもしれません。ただ、いまのところ私のところに来る人に 中高生はあまりいません。大人の方が圧倒的に多いです。

だから大人の理由に集中しましょう。では大人の理由として何が多いでしょうか?

ここまで私のところに相談にいらっしゃった 方々の状況を大雑把に言えば、「1人で続けるといろいろなポイントでハマってしまって続かない」とまとめられます。

「1人」という部分が大きい方もいらっしゃいます。それは次回考えること

にして、今回はハマリポイントについて考えます。

ハマリポイントは人それぞれです。ここでは「続けられない」というところにフォーカスして考えていきましょう。

続けられない理由でまず真っ先に挙げたいのは、「初心を忘れる」ことです。

どうしても必要になってやらざるを得なくなった方は別として、大人になってわざわざ数学をやろうと思った方はそれ相応の気概をもってはじめたはずです。

「いや、ちょっとした好奇心だから…」と思っている方もいらっしゃるかもしれませんが。あなたもそうかもしれません。

しかし募集ページの魅力を上げるべく、数学に本当に興味がないふつうの女性に募集ページを見せてみて反応を伺ったら、「数学したくなる大人なんていないし、こんなの作っても全く無駄でしょ？何やってんの？メッセージも全くのピン外れだね」というリアクションが返ってきました。

あのページを見て参加してみようと思った時点で相当の決意・覚悟をしていると思って間違いないのです。

それだけの初心を持っているのに忘れてしまうのはあまりにももったいないです。

私の通信講座では毎回感想を聞いています。これは講座の内容改善に繋げるためでもあります。実際には「こんなところがこう面白かった!」という記憶をあとであなた自身で思い出してもらうためのメモでもあります。

勉強がしんどくなってきた頃にそのメモを見返して、初心を取り戻してもらうための工夫です。

こういう工夫を甘く見てはいけません。数学自体を楽しく勉強し続けられれば何も言うことはありません。

しかし仕事なりプライベートなり、嫌なことがあったり忙しい中で数学に時間を割き続けるのは尋常なことではありません。

楽しみを見つけることももちろん大事です。しかし「数学を改めて勉強してみたい」とそう思った初心を思い出すようにしてみると、また情熱が戻っ

てきます。

「初心忘れるべからず」

この言葉を胸に刻んで、また数学に取り組んでみてください。

ここまで出したコンテンツは次の通りです。一回一回は短いので数分で読めると思います。通勤通学の合間のような隙間時間に読んでみてください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回

またメールします。

### 0.3.6.7 第 6.5 回 一人で勉強するのはしんどい／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか? 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回



● 関数とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学  
駆け込み寺 第六回

今回考えるのは次の問題です. 1人で勉強するのがしんどい...

結論からいうと, 何とかして「友達」を作りましょう, という話をします.  
作り方もいくつか紹介します.

これもなかなか根が深い問題です. 特に数学に関しては.

あなたは学生の頃, 学校の先生の説明があまりにわからなくて数学に挫折した経験があるかもしれません.

他によく聞く話として, 特に数学が得意な友達に聞いてみてもわからず, 逆に馬鹿にされることがあったり.

当人にそんなつもりがなくても, コンプレックスを抱えていると, 何でもない言葉でも深く考えすぎて悪くとってしまうこともあるでしょう.

いろいろな話を聞く限り, こんな経験を経て数学を他の人と勉強する機会を失った方は多いようです. あなたもそうかもしれません.

もう一つ大人になってからの再勉強については 特有の事情もあるでしょう. そもそも誰に聞いたらいいかわからない問題です.

学生であれば先生なり友人なり, 効果があるかはともかく, 質問できる人はいます.

しかし大人になると質問してもいいと思える相手自体が激減します.

私のところに来る方の中でいうなら, 大学レベルの専門的な内容だと理工系の方が遥かに多いです.

しかし時々中高の数学を復習したいという方がいて, 当然というか, ほぼ文系出身の方です.

当然周囲にいる知人も文系の方が多いでしょう. 質問できる・できない以前に 数学を毛嫌いしている方ばかりと思います.

先日送ったメールにも書いたように, 「数学やりたがる大人なんているわけない」くらいに思っている人も本当にいます. というか, よく出会います.

私が「数学をやっている」というと 二言目には「自分は昔から数学が苦手

で…」といわれることが多いですし、「数学なんて本当に嫌い」と言われることも多いです。

「数学科に進学するくらいに数学を愛している人間相手によく そんな失礼なことを言えるな」と毎回不愉快なのを乗り越えて 不思議に思うほどによく言われます。

私の話は別として、そもそも相談する相手すら 思いつかないという方が大半だろうと思います。

そんなときにどうすればいいか？ どう相談できる人を作ればいいのか？ もっと言えばどう「数学友達」を作ればいいのか？ これが問題です。

ある程度お手軽にできるところをいくつか紹介します。あなたの状況に応じて 使えるものを使ってください。

だいたい次の 4 通りがあります。

- 小中高校向けの塾などに通ってみる。
- 大人向けの塾などに通ってみる。
- ブログや Twitter で数学をやっている旨を発信する。
- 数学サークルを探してみる。

順に見ていきましょう。

- 小中高校向けの塾などに通ってみる。

私の知人の女性で一人本当にいます。彼女は恋人から「数学ガール」をプレゼントしてもらって、それを楽しんでみたい! と言って 公文式に通っています。

実際に時間を取って教室に参加するのは 時間的に大変なので、教材だけもらって自分で解いています。

「因数分解楽しいですね!」と 楽しそうに言われたことがあって、「こういう楽しみ方をしている人が 本当にいるのか」と驚くとともに 感動しました。

丸つけしてもらってほめてもらえるのも けっこうポイント高かったよう

ですね。

それなりにお金もかかりますが、実際にそうした既存のサービスを使うのも 大事な一手です。

- 大人向けの塾などに通ってみる。

子どもと一緒に勉強するのは恥ずかしい、大人になってまで数学の復習をしていると 他の人に知られるのは恥ずかしい、そういう方もいらっしゃるようです。

そういう場合は個人指導体制を取ってくれる 大人向けのサービスに参加してみるのも一手です。

大学数学レベルのバックボーンがある 人が対応してくれるところもあります。小中高向けの個人指導塾に お願いしてみるのもいいでしょう。

ただ大人向けの塾もいいところはいいのですが、そうしたサービスを展開している人が 書いている本を読んでいると、「この人明らかに数学の理解おかしいな？」という人が代表をやっていることがあります。そういう場合たいてい数学出身の方ではありません。

以前ブログに記事を書いたこともあるのですが、参考書に明らかに間違った内容の 記述があって恐ろしく不安になったことがあります。

明らかに「ここはまずい」というところは除いて、ここは割と問題なさそうだと思ったところは、最終回に参考文献と一緒にご紹介します。楽しみにしててください。

- ブログや Twitter で数学をやっている旨を発信する。

ここまでは有料のサービスでした。大人になってからという前提なら、そういう方法もあるので、あえて先に紹介しました。

無料でもいろいろやれます。これは私が実際にやった方法です。

大学院を出たら数学や物理の話ができる 知人がまわりに全くいなくなりました。あまりにさみしいので、ニコニコ動画に大学レベルの専門的な動画を上げてみたり、Twitter をはじめて「ここがわからない」と言っている 大

学生の質問に答えたりして 友達探しを必死にやりました。

はじめて知り合った頃に高校生だった人が いまは大学院生になっていることもあります。実際に一緒に大学でセミナーをしたこともあります。

最初はこちらが教える一方でしたが、今ではわからないことがあるとちょっと聞くといろいろ教えてくれるような 関係になっています。

教えるというとハードルが一気に高くなった、あなたはそう感じているかもしれませんが。しかし逆に考えてみてください。

「数学の話ができる知り合いがほしい」と、特に利益も求めず数学を教えてくれる人がいるのです。第一私がそうでした。

もちろんその人の都合もあるので、自分の都合のいいときに 納得いくまで付き合ってくれる保証はありません。

それでも話ができるだけで、相談ができるだけで助かることはあるはずです。少なくとも「数学をやっているもいいんだ!」という気持ちにはなれるはずです。

ブログだとコメントしづらい感じもするので、Twitter がいいように思います。Facebook は純粹にリアルの知人との やりとりに使っている方が多いでしょうし、リアルの知人に知られたくない事情があるなら 控えた方がいいと思います。

- 数学サークルを探してみる。

これはどちらかというと リアルで「友達」を作る話です。例えば月に一度学校の教室を借りて 勉強会を開いている人達があります。

それ以外にもカフェでやっていたり、ネット上で Skype でオンラインセミナーを やっている方々もいます。

私も以前、東大や京大の学生達と オンラインセミナーをしたことがあります。Skype+Pixiv チャットでやりました。式を書きながらやりたいならタブレットが必要です。

そうした方々はブログや Twitter で情報発信をしていることもあるので、そういうのを見て問い合わせるといいでしょう。

改めて結論を書いておきます。1人でやるのがしんどいなら実際に仲間を探せばいいだけです。

近くにいそうにないとか、なかなか自由に時間が取れないなら、Twitter などオンラインで仲間を見つけましょう。

あなたが大人なら、いっそのことお金を払って質問できる相手や勉強しやすい環境を作る手もあります。

お金もかからず気楽にはじめられて、しかも大学の教官や学生を含めた数学や自然科学関係者が集まっている場所としては Twitter をお勧めしておきます。

私のフォロワー・フォロイーを見ればたくさんその手の人がいるので、適当に探してみてください。

- <https://www.twitter.com/phasetr>

もちろん私に質問してくれても構いません。時間があれば対応します。

ここまで出したコンテンツは次の通りです。一回一回は短いので数分で読めると思います。通勤通学の合間のような隙間時間に読んでみてください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ / 中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第六回

ではまたメールします。

### 0.3.6.8 第 7.5 回 文系の数学／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに：全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較：放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第七回

今回は次の問題について考えてみましょう。

- 文系に数学はいるんですか？
- 必要とだとしたらどんなときにどんな数学がいますか？

時々大人でも「自分は文系だから数学なんていらぬ」とかいう人がいますし、中高生の参加者もいる想定なので 念のため書いておいた方がいいのだろうかと思ひまして。

まずは結論。文系とか理系とか関係なく 多くの人にとって数学は必要ありません。~~~~~ しかし時々とんでもないところで必要になります。~~~~~

この必要などころについては後半で説明することにして、まずは「多くの人

にとって数学は必要ではない」ところから。

ここでの必要の有無は「高校・大学を出てから使うか」という基準で書いています。私ですらふだん仕事で数学それ自体は全く使っていません。「全く」です。

「数学を学ぶ中で身についたこと、論理的思考みたいなのは使っていないのですか?」というご意見もあるかもしれません。

しかし自分に関していうなら、数学をやっていないくても多分何かしらで身についたことと思っていますし、牽強付会に「数学が必要」というのはおかしいと思っています。

たいていの人が使うのであれば「数学ができなくてもいい」という人がこんなにたくさんいるわけでもないですね。

大学の文系分野で必要な数学という話もありますが、まずは「不幸にも数学が必要になった人」の話をしましょう。

- <http://wp.me/p4PcgX-16O>

「高卒社会人の学力問題」という記事です。舗装会社の方が体育会系出身の新社員が密度の計算以前に概念を理解していないとか、一時間を100分で計算しようとするとか、そういう話をしています。

この事例でいうなら数学というより算数と言った方がいいのかもしれませんが、私からすると想像を絶するレベルなのですが、あなたはどう感じただでしょうか?

これは本当に気になるのでぜひコメント頂きたいのですが、それはともかく。

あなたがこういう計算も「数学」と思うのなら、人によっては本当に数学が必要になることがある、この事実自体は認識してもらえます。

ただこれが世間に溢れているならもっと数学ができなくてはいけないという風潮になっているはずです。やはり特殊な事例なのだと思います。

体育会系だから勉強できなくてもいい、それは危険なことはありうる、そのくらいのことはいえます。

数学は本当に全く必要ないと言えれば 楽でいいのですがそうも行かないのが つらいところでしょう。

高校・大学を出てから使うかどうかでいうと こんなところですよ。

もちろんメーカーで技術職、特に開発職・研究職になろうと思うなら もっときちんとした勉強が必要です。

何をどのくらいというような話もできますが、今回これ以上は深く触れません。この講座のテーマである微分方程式が 大事なことだけは強調しておきます。

話を元に戻しましょう。今回のメインテーマは文系で使う数学です。

一番大きなところは統計学ですね。今は中高のカリキュラムにも入ってきています。これはそれだけ大事だからです。

イメージしやすいのはデータを扱う分野でしょう。ニュースでグラフが出てくるのがよくありますね？ グラフがあったらその背後に統計学をはじめとする数学があると思ってください。

大きくわけて大学では文系は 人文学と社会学に分かれます。社会学は法学や政治、経済のような分野とでも思ってください。

この社会学ではいろいろな統計データを扱います。犯罪率だとか人口の比率だとか、国際的な貿易の取引額だとか。そうしたデータを処理するときに必ず統計学が出てきます。

統計学が出てくるということは 数学を使うということです。難易度のイメージとして高校の数 III 程度を イメージしてください。

実際には正規分布の処理で 高校の数 III を越える積分が出てくるので、高校程度の数学ができたくらいでは 全く足りないのですが、まあいいでしょう。

あと使うイメージを持ちやすそうなのは、大学受験でしょうか。特に経済は数学受験できる大学があります。受験科目に課すのはもちろん入学後に使うからです。必要のない科目をわざわざ試験科目にしませんから。

ここまででは社会学に関して触れてきました。ニュースでも目にするデータと絡んだ分野が多いのでイメージしやすかったはずですよ。ここからは人文学の話をしていきます。



人文学という心理学や 言語文化学といった分野を含みます。

数学なんて関係なさそうに見えるかもしれませんが、しかしここでもやはり統計学が出てきます。具体例を挙げていくと数限りないので、2-3 の事例を紹介するだけにしておきます。

まずはイメージなさそうな心理学にしましょうか。残念ながら心理学でも数学を使います。やはり統計学が必要だからです。

心理学でも実験をやります。その実験のデータ処理で統計学を使います。私も心理学は全く勉強したことがないので細かいことはわかりません。ただデータが出てきたらその時点で 統計学との戦いがはじまります。

これも全くイメージ湧かないかもしれませんが、国際言語文化学といった分野でも 数学が必要になっている事例があります。

次のページを見てみてください。

- <http://phasetr.com/blog/2013/09/06/> 金城克哉さんによる論文-「槇原敬之の歌詞の数量/

このページでは言語文化学として 歌手の槇原敬之の歌詞を研究しています。上記ページに論文へのリンクもあるので ぜひ論文も眺めてみてください。

論文中で「多変量解析」という言葉が出てきます。これは統計学の用語です。つまり数学を使っているという宣言です。

どんなことをやっているかを簡単に言うと、要はどんな単語がどのくらい出てくるかを調べるため、歌詞を単語に切って単語数をカウントしているわけです。

それをいろいろな観点から眺めるために 統計学の処方に従って計算をしている、そういう話です。

言語学と数学、統計学という話はもっと身近にあるので それも紹介しておきましょう。

計量言語学という分野があります。計量と名前のついた分野は 基本的に数学、特に統計学を使いますという宣言を 分野名のレベルでやっています。

実際にどんなところで使われているかという点、例えば携帯の漢字かな変換です。特に自然言語処理という分野があって、その話です。

あなたが実際に携帯をお持ちなら、適当な言葉を打ってみてください。何文字か打つと候補が出てくるはずです。そしてその候補を他の人と比べてみてください。結果が違うはずです。

結果が違うということには原因があるはずです。そしてそこに数学が使われています。ここで詳しく書ききれないので簡単にポイントだけ書いておくと、要は確率の計算をやっています。

「この人はこういう言葉をよく使うから、今回もこの言葉を前に出しておくとうりだろう」、そういう配慮をしてくれるのが携帯の漢字かな変換で、それを確率で判断しているわけです。

その確率を決めるために裏で統計的処理をしていて、そこでまさに統計学が出てくるわけです。

最近人工知能や機械学習がよく話題に上がります。最近の有名な動きに関して言うなら、これらの背景にも数学があって、その数学の大きな目玉は統計学です。

統計学で使う数学は中高数学のほぼ全てです。先程も書いたように中高数学のレベルでは足りなくて、もう少し面倒な大学レベルの数学も必要になります。

そんなところまで無理にやる必要はありません。しかし必要な人には必要だし、社会の裏側を支える人間になりたいなら それに対応する数学を使える必要があります。

社会に対して何かを仕掛ける側に回りたいなら、あなた自身が数学を使える必要はないかもしれませんが、数学ができる人を味方につける必要があります。

コミュニケーションの道具として英語を使うのと同じように、そうした技術的な話題のための コミュニケーションの道具として数学が使われているので、あなた自身もある程度は数学を理解しておかなければいけないかもしれません。

数学の話をわかってもらえていた方が明らかにコミュニケーションコスト下がりますからね。

最後、必ずしも文系の数学というところではなくなりました。社会に出てから使うかどうかは人によります。しかし使わなければいけない状況自体は存在します。他はともかく大学で使う機会はかなり多くの人にあります。

私が中高生の頃、こういう話をしてくれる大人はほとんど見かけませんでした。どこかで誰かは話しておいた方がいいと思うので、今回特別に一回分を割いてお話しておきました。

興味がある方が多ければ、今後この辺の話、特に統計学とその応用についてもミニ講座を作る予定はあります。気になる方はぜひコメントください。

最後にもう一度ここまでの配信分をまとめます。まだ見ていない回があればぜひチェックしてください。

- はじめに：全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較：放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第七回

ではまたメールします。

### 0.3.6.9 第 8.5 回 習慣の力と習慣化のための四つの秘訣／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？ 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第七回
- 漸化式から微分へ: 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第八回

今回は次の問題について考えてみましょう。どうすれば数学を続けられるのか？

このテーマは既に一度考えています。今回はその復習に加えて、習慣化という観点からお話します。

数学に限らず何かをしようと思ってもなかなか続きません。私の場合、数学なら放っておいてももう勝手にやるのですが。

しかしそれ以外がなかなか続きません。

コンテンツ制作にも関わるし、好きなのでイラストを描く練習をしたいの

ですが、ついつい忙しさにかまけてさぼってしまいます。

他にもプログラミング、特に今回も扱っているような 数学関係のプログラミングも なかなか勉強や研究が続きません。

他にも、私は中学の頃に白血病になって しばらくまともに運動していなかったため 本当に体力がなく、いい加減そこを何とかしようと思って 筋トレしたり休みにジムに行って ランニングしたりしています。毎日の筋トレくらいならまだしも、ジム行きはなかなか続かないですね。

というわけで継続して何かをする、ということに関しては私も あなたと同じようなところはあります。

続けられていることと 続けられないことを比べれば、続けられないことが何故続かないのかもわかります。私自身に関する調査・研究結果だけでなく、これまでいろいろな方の様子を見てきた結果と合わせて 継続に関するポイントをお伝えするので、ぜひ参考にしてください。

最初にも書いたように続けていることは 習慣になっているということです。だから習慣化を意識するのが大事です。ポイントを箇条書きでまとめておきます。

- 21 日続ければだいたい続く。
- 難しいことをすると心が折れる。
- 続けられるくらい小さい単位で。
- とにかく自分をほめる。

聞くとところによると 21 日続けられればそのまま習慣として 続けていけるという研究結果があるそうです。

3 日坊主とよく言います。21 日続けられるかが山場なので まずは 21 日続けるための方法を考えましょう。ちなみにこの講座は本編が全 11 回で、その合間に今回のような勉強継続法といった 小ネタを挟むことで全 22 回シリーズにしています。

この小ネタメールも 5-10 分程度で読み切れるはずなので、このメール講座に毎日取り組んでもらえれば 自動的に 21 日を越えられるようになってい

ます。

21日続けるための方策として、できる限り簡単にすることが大事です。例えば筋トレをやるにしてもいきなり腕立100回を毎日というとは絶対に挫折します。はじめの三日くらいで疲れ果てて確実に心が折れます。一日10回でいいからその代わり毎日ちゃんとやる方が確実に続けられます。これは私の実感でもあります。

あとで少し書くように私は中三で白血病になり、そこからろくに運動していないので本当に体力がありません。

ここ1-2年でもいい加減何とかしようと思って、体力増進を兼ねた筋トレもはじめて、実際に一日10回を3セットくらいのレベルで地味に続けています。継続のために大事な工夫です。

数学でも同じことをしましょう。難しさの基準は無理なくどころか毎日絶対に続けられるくらいの小さい単位が基準です。「がんばればできる」というのではがんばる必要があって確実につらくなります。一日五分でいいから数学に触れ続けてください。

本を開いて眺めるだけでも十分です。眺めるというのは読まなくてもいいということです。何か数字とアルファベットが書いてあるようだ、このくらいのレベルで「眺める」のもいいです。その代わり毎日ちゃんと五分はその時間を作る、そういう意識でやりましょう。

この講座の各回を一つ眺める、それでも十分です。通勤・通学のような細切れ時間にやるだけでももちろんOK。

本を持ち歩くのは大変でもスマホでネットにアクセスするのは簡単でしょう。スマホでPDFを見る方法がよくわからないという方もいらっしゃるのですが、記事へのアクセスなら簡単にはずです。それもあって記事の形で配信しています。ぜひ有効活用してください。

あと大事なのはとにかく自分をほめること。私の場合、コンテンツに活かすべくイラストの練習しているときに「これ下手だな」と自分で自分の気分を下げてしまうことがよくあります。

これは本当によくない。「今日もさぼらずきちんと練習できたな」のよう

に練習したこと自体を褒めるくらいでちょうどいいです。

また自分に期待しすぎないのもポイントです。子どもが何かできるようになったとき、小さなことでも「よくできたね」「すごいね」と褒めると思います。それを大人になった自分にもしてあげましょう。

できる人は何の苦労もなくできるしやっているのですが、私含め、気楽に褒められない人も多いです。ガンガン褒めてあげましょう。人を褒めること自体いい習慣でもあります。

もう一度まとめておくと、習慣化の秘訣は次の四つです。

- 21日続けられたい続く。
- 難しいことをすると心が折れる。
- 続けられるくらい小さい単位で。
- とにかく自分をほめる。

あと全く参考にならないと思いますが、私の数学の習慣化に関してお話しておきます。

私の場合、中学三年の1月に白血病になりました。細かいところは他でも書いているので省きますが、身体が動かないなら頭が使えるようになろうと思って高校になったら死に物狂いで勉強するぞ、特に皆が苦手な数学をやっておけばきっとどこかで生きるはずだと思い、決意を固めました。

高校入学直後、高校では毎日「2+ 学年」分の時間を家庭学習するべきだと言われたので、それを素直に受けとめて毎日「2+ 学年」分の時間勉強していました。上の決意・覚悟もありますが、特に数学が苦手だったこともあり、とにかく数学をしていました。

少なくとも1-2年の間の家庭学習で90%以上は数学をしていたと思います。それ以外は英語の予習か試験前の勉強で、それ以外の記憶がほとんどありません。

これは習慣化というより固い決意と覚悟の問題で、その「初心」を今でも忘れていないという極めつけに特殊な事例だろうと思います。最初は軽くとか言わず、高校に入ってからいきなり毎日3時間家庭学習はじめました

からね。

余計な話をはさみました。結局ゆっくりじっくり地道に進めるのが一番ということです。思い詰めずゆるくやるのが継続のコツです。この講座もそのくらいのゆるさ・軽さで取り組んでください。

最後にもう一度ここまでの配信分をまとめます。まだ見ていない回があればぜひチェックしてください。

- はじめに：全体の大枠を掴もう／中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較：放射性物質の崩壊／中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式／中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か？微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第七回
- 漸化式から微分へ：微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第八回

ではまたメールします。

### 0.3.6.10 第 9.5 回 プログラマの数学：遊びのとっかかりを作ろう／中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか？一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

今回は次の問題について考えてみましょう。数学を学ぶのにプログラムを



有効活用したい!

これに関しては私の次の率直な気持ちがあります。

- 微分方程式のシミュレーションが楽しいのでやりたい!
- 中高生の頃の自分もこんなあったら 絶対喜んだはずだからぜひやりたい。
- 統計学の応用でいろいろな話があるし、ここをおさえればいろいろな人と話せる、組める要素ができてまた楽しくなるはずだから勉強したい!

こう思っているだけでは話が進まないし、何か実績を作らないといけません。

自分だけでやっていると絶対にやらないので、人を集めて講座を作ってしまうば やらざるを得ない状況ができます。

その状況を作ったのがこの講座とも言えます。基本的には自分が楽しいと思うことをやっています。

これまでいろいろやってきて、自分と同じように考える人がいることを知っています。

数学というネタがネタなのでたくさんはいません。受験のような巨大産業になるところでもありません。しかしたくさんいないからこそ、応える人が少ない現状もあり、そこに私が参入する意味や楽しめる要素がたくさんあると判断しました。

ネタはたくさんあります。現実的に応用があり産業になっている話に限っても 追い切れないくらいあります。

今回は理工系の必須教養である 微分方程式をネタにして扱ってみました。微分方程式は理工系のありとあらゆるところで使われているため、遊べる要素もたくさんあります。

理工系以外の方にも「こんな遊び方があるよ」というのを紹介してみたい、という欲求もあります。

その人自体がやらなくても、その人の周囲にいる中高生に情報が届くかも

しれず、そういったところも狙っています。

ここに関してはいろいろ実験をしています。「こんなのもあったら嬉しいんだけど」という要望があればぜひ教えてください。

またいろいろな実験をしていきます。

=====  
ちょっと話がずれますが、いくつかアンケートの回答を見て 気になったことがあるのでコメントしておきます。

アンケートの中で文系出身プログラマーという方がいて、プログラムの理解に数学を役立てたいという 要望があるようです。

この講座ではない他のかなり専門的な内容の講座、現代数学観光ツアーにも 参加者にプログラマーの方がいます。

現代数学観光ツアーに参加された方は、機械学習や人工知能に関する勉強のために 統計学をきっちりやりたいといった明確な目的があるようです。

ただこちらに参加される方は そういう具体的な話ではなところにモチベーションがあるようです。

プログラムの理解と数学学習に何か 関係があるのか、私は全くイメージができていません。無理に数学をやる必要はないのでは? と思うのですが何に活きると思ってらっしゃるのか 本当に伺ってみたいです。

それならそれで何かカバーするコンテンツを 工夫してみたいと思いますし。

よくある論理的思考と数学、みたいな話なのでしょうか? それについては「論理的思考を身につけるのに わざわざ数学のような苦行に取り組む必要はない」という記事を書いたことがあります。

参考文献も紹介しているので、ぜひ記事を読んでみてください。

- <http://phasetr.com/blog/2017/02/13/logical-thinking-without-math/>

最後にもう一度ここまでの配信分をまとめます。まだ見ていない回があればぜひチェックしてください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回
- 微分方程式に関するここまでのまとめ / 中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か? 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第七回
- 漸化式から微分へ: 微分方程式のシミュレーションの観点から / 中高数学駆け込み寺 第八回

ではまたメールします。

### 0.3.6.11 第 10.5 回 覚悟のすすめ / 中高数学駆け込み寺

ここまでのコンテンツは確認されたでしょうか? 一回一回は 10 分もあれば十分に読み切れる量です。通勤通学中などの空き時間にでも眺めてみてくださいね。リンク先のページに PDF も置いてあります。必要なら印刷して読んでください。

今回は次の問題について考えてみましょう。「覚悟」を決めよう。

かなり強い言葉なので、あなたは不穏な気配を感じたかもしれません。しかしそんなに大した話でもありません。気楽に読んで使えるところに取り入れてください。

結論からいうと何かを決めると楽になります。考えなくて済むようになるからです。

例えばあなたが社会人なら仕事管理で TODO リストを作れ、と言われたことがあるかもしれません。

これも理由は単純で、「次に何をしようか」と考える時間が 本当は無駄だからです。

「これが終わったら次はこれ」、決めておくと迷うことがなくなって 本来にスピードが速くなります。

余計なことを考える時間があると、ちょっとネットサーフィンしてしまって そのまま時間が過ぎてしまった、そんなこともよくあります。

TODO リストを作ったとしても 結局はきちんとその通りにやろう、そういう覚悟を決める必要があります。

これもいきなり大きなことを やろうとすると即刻挫折します。

そもそも一つ一つの TODO 自体を小さくするといいですね。

最初は一日必ず五分中高数学駆け込み寺の記事を見る、それさえ終わったら後は好きにしてい、そのくらいの内容でも構いません。

TODO をたくさん入れてしまうと 本當にきつくなります。毎日ちゃんとこなせる量の 小さなタスクをちゃんと積み上げましょう。

本當は大目的があった上で それをブレイクダウンして 日々のタスクに落とす、そういう作業が必要です。

この辺は要望があれば もっと突っ込んで話をしようと思います。まずは軽いところからはじめてください。

特にこの講座に参加された方にとって 数学を勉強することそれ自体が 精神的に大変なことでしょう。

大変に思わないレベルまで タスクを小さく、小さくしてください。

記事を読むどころかページを開いて 何となく眺めるとか、最初はそれで十二分です。

最後にもう一度ここまでの配信分をまとめます。まだ見ていない回があればぜひチェックしてください。

- はじめに: 全体の大枠を掴もう / 中高数学駆け込み寺 第一回
- 厳密解との比較: 放射性物質の崩壊 / 中高数学駆け込み寺 第二回
- 経済や生物で使う微分方程式 / 中高数学駆け込み寺 第三回

- 微分方程式に関するここまでのまとめ／中高数学駆け込み寺 第四回
- ベクトルとは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第五回
- 関数とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第六回
- 数列とは何か？ 微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第七回
- 漸化式から微分へ：微分方程式のシミュレーションの観点から／中高数学駆け込み寺 第八回
- 微分の一般論／中高数学駆け込み寺 第十回

ではまたメールします。

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

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

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

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



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

- 
- Second Edition*. Chapman and Hall/CRC, 1 1999.
- [197] Walter Rudin. *Real and Complex Analysis*. McGraw-Hill Publishing Company, 8 2005.
- [198] 齋藤元樹, 松本尚浩. Clarkson の不等式の幾つかの証明について. 数理解析研究所講究録, No. 1399, pp. 51–70, 11 2004.
- [199] 齋藤毅. 『集合と位相』. 東京大学出版会, 9 2009.
- [200] 齋藤正彦. 『線型代数入門』. 東京大学出版会, 3 1966.
- [201] Shoichiro Sakai.  *$C^*$ -Algebras and  $W^*$ -Algebras*. Springer, 12 1997.
- [202] Takashi None Sakai. *Riemannian Geometry*. American Mathematical Society, 5 1996.
- [203] 坂井秀隆. 『常微分方程式』. 東京大学出版会, 8 2015.
- [204] 酒井隆, 小林治, 芥川和雄, 西川青季, 小林亮一. 『幾何学百科 II 幾何解析』. 朝倉書店, 11 2018.
- [205] 酒井高司. 『tex 入門』, 2013.
- [206] 佐武一郎. 『線型代数学 (新装版)』. 裳華房, 6 2015.
- [207] Mikio Sato. Theory of hyperfunctions i. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo. Sect. 1, Mathematics, astronomy, physics, chemistry,*, pp. 139–193, 8 1959.
- [208] Mikio Sato. Theory of hyperfunctions ii. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo. Sect. 1, Mathematics, astronomy, physics, chemistry,*, pp. 387–437, 8 1960.
- [209] 佐藤健太郎. 『炭素文明論 「元素の王者」が歴史を動かす』. 新潮社, 7 2013.
- [210] M. Schwarz. *Morse Homology*. Springer, 10 1993.
- [211] 赤堀也. 『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  
 コホモローク, 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  
 コルートの, 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
  - 枝分かれした-, 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  
 複素数値係数, 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-ウィーナー測度, 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  
 レイヤーケーキ表現, 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