

第 9 章

解説 『やさしい理系数学』

[122]

9.1 はじめに

この本では(三ツ矢和弘 2013, 『やさしい理系数学』)の例題を元に脳内授業の仕方を説明します. 脳内授業に関しては同じく Kindle で出版している『独学のすゝめ』(相転移 P 2015)を参考にしてください. この本を書いた理由は, まさに上の『独学のすゝめ』の読者さんに「実際にどう独学を進めればいいかわからない, わかりづらい」と相談されたからです. そこで, 実際に『やさしい理系数学』の例題を使って受験生に指導したときのノートを公開する形でこのご要望に応えました. この本はよく「解説が少ない」と言われます. 使ってみてわかりましたが別解もたくさんあってなかなか楽しい本ですが, やっぱり受験生は使いづらいみたいです. そういうこともあって, 毎回資料を準備して指導していました. それがこの本の雛形になっています.

ほぼ暗記しかやりようがないような問題や微分方程式などいまの課程外の問題もあるため, 全ての例題を解説しているわけではありません. 何より, どんな感じで脳内授業していけばいいかを説明する素材として『やさしい理系数学』(三ツ矢和弘 2013)を使っているだけなので, あらかじめご了承ください

い。正式な解答や演習問題についてはきちんと『やさしい理系数学』を買って確認してください。量をこなせばいいわけでもないですが、例題の50題だけでは少なすぎるのも事実です。薄い本なので全体を通して取り組みやすいです。演習問題まできちんとやりましょう。演習問題ふくめ、「この本に載っていない分の問題の授業の様子も知りたい!」というご要望があれば、追加は検討します。指導していた生徒さん達がとても素直だったこともあります。この内容で指導した高3生は3ヶ月指導しただけで偏差値が47から62まで上がりました。『やさしい理系数学』は難しく気楽に読める本ではないでしょう。でも、読めば必ず身になるよい本です。特に難関大の理系受験生の皆さんはこの副読本も参考にしながら『やさしい理系数学』をしゃぶり尽くしてください。何か聞きたいことがあれば、著者略歴にあるLINEなどの連絡先に気軽に連絡してください。時間が取れる限りお返事しますし、直接お返事ができなくてもメルマガなど今後のコンテンツや活動の中でご意見を反映させていただきます。質問や相談は数学じゃなくてもいいですよ。

もしかしたらあなたは私のこの本を読んで、「このくらいなら自分でもできる」「大した解説じゃない」「このくらいの解説なら自分でもできる」と思ったかもしれません。そんなあなたはぜひ数学科に来てください。教官含め、数学科の人はそういう人材を待ち望んでいます。私は中高と数学が苦手で、受験でも苦しんで「こんなに数学ができないんじゃ数学科に行っても何にもならないだろう」と思い、物理学科に進学しました。物理もたいがいひどかったですが数学よりはよかったです。それでも大学に入ってからもずっと数学を勉強し続け、大学院では東大の数学科(数理科学研究科)に行っても何とかやっていけるくらいに数学への耐性だけはずきました。まがりなりにもきちんと研究して成果も残せました。どんなに小さくマニアックな分野の結果であろうとも、世界ではじめての、前人未踏の結果です。現時点ですら「この程度」の解説しか書けず、受験でこれ以上ないほど数学で苦しんだ私でも、です。私の受験生の頃の数学はもちろん今よりもはるかにひどい状態でした。ここまでの深さで数学を理解もしていなかったし、きちんと暗記もできていませんでした。それでも努力を続けて大学院で数学科に進学するレベ

ルになりました。あなたがいまの時点で私を越えているならすごいことです。もっと遠く深い世界に行けるでしょう。数学科でなくても大学は楽しいです。大学進学後は思う存分学業に打ち込んでください。

さて、本題に戻ってこの本に関する説明に戻ります。実際の指導で何度も強調したことは実際に本文でも説明していますが、ここにもまとめておきましょう。メインは次の2つです。

- 覚えるべきことはきっちり覚える。
- 実験してみる。

まずは言うまでもないこと、暗記です。数学ではよく理解が大事と言われます。それは当然です。そのうえで**覚えるべきことはきっちり覚えてください**。極端なことを考えてみましょう。微分積分の理論それ自体を試験本番の短い時間で思いつける自信がありますか？ふつうの人どころか天才でも無理です。数学史、人類史に名を残すレベルの天才が何年、何十年もかけてようやく思いついた解法があって、それが前提になっている問題があります。むしろ「昔の人はすごいこと思いついたな」と素直に驚くところです。微分積分はニュートンやライプニッツのように、数学史、科学史、人類史に名を刻む天才が長い時間をかけて見つけた概念です。そんなのが試験時間中にホイホイ思いついたら苦労しません。大学受験で出てくる問題とその解法にはそのレベルの「こんなもん試験時間内に思いつくか」という解法が割とたくさんあります。そういうのはもう覚えておくしかありません。時間をかければ思いつけるかもしれませんが、そんな危険な勝負は勧められません。あなたは大学に入って自分の好きな勉強をすることが一番の目的のはず。大学入試はさっさと通り抜けてほしいです。私は一浪したとき、早く大学に入りたくてたまりませんでした。浪人が無駄とまでは言いませんが意味もなく遠回りをするともないでしょう。

(相転移 P 2015, 『独学のすゝめ』)でも説明しているように、大学で覚えなければいけないことは、少なくとも高校3年間でやる量とは比べものにならないくらいたくさんあります。日本史、世界史、地理や英単語のように、どう

したって覚えていないといけないことはたくさんあります。数学でも同じです。身近に大学生がいるなら、知っている数学の定理や公式、理論を名前だけでも挙げてもらってください。どれだけ多くのことを覚えていないといけないかがわかります。

理解はもちろん大切です。理解しなくていいとは一言も言っていません。ただ特に難関大学を受ける生徒さんほど理解を重要視しすぎて暗記がおろそかになってしまって、点数が伸びないことがあるから、あえて強調して言っています。むしろ理解にばかり重心があつて暗記がおろそかになっている人がとても多いです。受験生の頃の私もそうでした。私の失敗をくり返してほしくありません。覚えるべきことはきっちり覚えてください。

本当にひらめきが必要になったとしたら、それはもう受験勉強ではなくて**研究**です。大学受験や大学院の院試すら飛び越えています。そんなこと、そもそも求められていません。私が学部のときの指導教官、早稲田の応用物理学科の大谷光春先生は、自分が一番いい仕事、研究をしたときのことを次のように言っていました。

あときは自分でひらめいたというよりも、天からパーッと啓示がふってきたかのようなだった。あの感覚は言葉で言い表せない。

試験会場でこんなことになったら、むしろその感動で試験どころではなくなってしまいます。実際センター試験中にある数学的な事実気付いてしまい、感動してしまってどうしようもなくなってしまった、という人が本当にあります。

数学だとあまりにも暗記についての認識がおかしい人がいます。**きちんとした暗記**は本当に必要です。他にも勉強法についていろいろ言いたいことはありますが、詳しくは『独学のすゝめ』(相転移 P 2015)を読んでください。

次、実験です。受験であまり強調されているのを見たことがないのですが、数学に限らず研究するときにも大切なことです。単に受験というだけではなくて、大学・大学院で研究するときにも大事だし、社会に出てビジネスするときにも大事です。あとで具体的な問題で具体的に解説しますが、いきなり

一般的に考えないで具体的な値で試してみるといったことです。当たり前と
思っている人には当たり前ですが、できていない人、もっと言えばそもそも知
らない人も多いのです。ここではふわふわしたことしか言えないので、ぜひ
本文を読んで実験という大学・大学院に入ってからでも使える大切な研究手法
を身につけてください。具体的にどうやるかは本文をしっかり読んで真似し
て体得してください。

前置きが長くなりました。それでははじめましょう！

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] L. V. Ahlfors, 乾吉笠原. 『複素解析』. 現代数学社, 3 1982.
- [3] M. Aigner and G. Ziegler. 『天書の証明』. 丸善出版, 9 2012.
- [4] 秋月康夫. 『軌近代数学の展望』. 筑摩書房, 12 2009.
- [5] C. Albert, L. Ferrari, J. Fröhlich, and B. Schlein. Magnetism and the weiss exchange field- a theoretical analysis motivated by recent experiments. *J. Stat. Phys.*, Vol. 125, pp. 77–124, 10 2006.
- [6] Allen Altman and Steven Kleiman. *A Term of Commutative Algebra*. Worldwide center of mathematics, 4 2013.
- [7] 安藤哲哉. 『不等式 21 世紀の代数的不等式論』. 数学書房, 9 2012.
- [8] 青柳碧人. 『浜村渚の計算ノート』. 講談社, 6 2011.
- [9] Asao Arai. Infinite dimensional analysis and analytic number theory. *Acta Applicandae Mathematica*, Vol. 63, pp. 41–78, 9 2000.
- [10] 新井朝雄, 江沢洋. 『場の量子論と統計力学』. 日本評論社, 6 1988.
- [11] 新井朝雄, 江沢洋. 『量子力学の数学的構造 II』. 朝倉書店, 7 1999.
- [12] 新井朝雄, 江沢洋. 『量子力学の数学的構造 I』. 朝倉書店, 7 1999.
- [13] 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.
- [14] 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.

- [15] 新井朝雄. 『量子現象の数理』. 朝倉物理学体系. 朝倉書店, 2 2006.
- [16] 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.
- [17] 新井朝雄. 『量子統計力学の数理』. 共立出版, 7 2008.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] V. I. Arnold. *Mathematical Methods of Classical Mechanics*. Springer, 9 1997.
- [23] Neil Ashcroft and David Mermin. *Solid State Physics*. Thomson Learning, 1976.
- [24] M. Atiyah and I. Macdonald. *Introduction to Commutative Algebra*. Westview Press, 2 1994.
- [25] T. Aubin. *Nonlinear Analysis on Manifolds. Monge-Ampère Equations*. Springer New York, 12 1982.
- [26] Thierry Aubin. *Some Nonlinear Problems in Riemannian Geometry*. Springer, 6 1998.
- [27] Steve Awodey. *Category Theory*. Oxford Univ Pr, 8 2010.
- [28] Simon B. *Functional Integration And Quantum Physics*. Chelsea Pub Co., 12 2004.
- [29] H. Baumgartel. *Operator Algebraic Methods in Quantum Field Theory*. Vch Pub, 10 1995.
- [30] B. Blackadar. *K-Theory for Operator Algebras*. Cambridge University

Press, 9 1998.

- [31] J. Bost and A. Connes. Hecke algebras, type iii factors and phase transitions with spontaneous symmetry breaking in number theory. *Selecta Math*, Vol. 1, No. 3, pp. 411–457, 1995.
- [32] O. Bratteli and D. Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, Vol. 1 of *Theoretical and Mathematical Physics*. Springer Berlin Heidelberg, 11 2010.
- [33] O. Bratteli and D. Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, Vol. 2 of *Theoretical and Mathematical Physics*. Springer Berlin Heidelberg, 7 2013.
- [34] H. Brezis. *Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations*. Springer, 11 2011.
- [35] 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.
- [36] D. Buchholz and H. Grundling. Quantum systems and resolvent algebras. *arXiv:13060860*, pp. 1–15, 6 2013.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Henri Cartan and Samuel Eilenberg. *Homological Algebra*. Princeton University Press, 11 1999.
- [40] S C Coutinho. *A Primer of Algebraic D-Modules*. Cambridge University Press, 5 1995.
- [41] 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.

- [42] 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.
- [43] Huybrechts Daniel. *Complex Geometry: An Introduction*. Springer, 8 2004.
- [44] Bernard d'Epagnat. *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. Addison Wesley Longman, 9 1976.
- [45] Jared Diamond. 『銃・病原菌・鉄(上) 1万3000年にわたる人類史の謎』. 草思社, 2 2012.
- [46] Diamond Jared. 『銃・病原菌・鉄(下) 1万3000年にわたる人類史の謎』. 草思社, 2 2012.
- [47] Paul Dirac. *Principles of Quantum Mechanics*. Oxford University Press, 2 1982.
- [48] Paul M. Dirac, 洋江沢. 『一般相対性理論』. 筑摩書房, 12 2005.
- [49] 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.
- [50] Lawrence C. Evans. *Partial Differential Equations*. American Mathematical Society, 4 2010.
- [51] 江沢洋. 『だれが原子をみたか』. 岩波書店, 1 2013.
- [52] Otto Forster. *Lectures on Riemann Surfaces*. Springer, 10 2013.
- [53] 藤原正彦. 『天才の栄光と挫折—数学者列伝』. 文藝春秋, 9 2008.
- [54] 深谷賢治. 『数学者の視点』. 岩波書店, 1 1996.
- [55] 深谷賢治. 『解析力学と微分形式』. 岩波書店, 4 2004.
- [56] 深谷賢治. 『電磁場とベクトル解析』. 岩波書店, 1 2004.
- [57] 舟木直久. 『確率論』. 朝倉書店, 11 2004.
- [58] B. Gelbaum and J. Olmsted. *Counterexamples in Analysis*. Dover, 6 2003.
- [59] 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.

-
- [60] David Gilbarg and Neil S. Trudinger. *Elliptic Partial Differential Equations of Second Order*. Springer, 4 2013.
- [61] Rudolf Haag. *Local Quantum Physics: Fields, Particles, Algebras*. Springer, 1996.
- [62] 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.
- [63] 田崎清明, 原隆. 『相転移と臨界現象の数理』. 共立出版, 6 2015.
- [64] 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.
- [65] Robin Hartshorne. *Algebraic Geometry*. Springer, 4 1997.
- [66] 長谷川浩司. 『線型代数』. 日本評論社, 3 2015.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] 平井武. 『線形代数と群の表現 I』. 朝倉書店, 11 2001.
- [71] 平井武. 『線形代数と群の表現 II』. 朝倉書店, 11 2001.
- [72] 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.
- [73] 堀田良之. 『加群十話一代数学入門』. 朝倉書店, 10 1988.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] 伊藤清三. 『ルベグ積分入門』. 裳華房, 4 1963.
- [77] 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.

- [78] Max Jammer. *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. Wiley, 12 1974.
- [79] Jürgen Jost. *Postmodern Analysis*. Springer, 8 2005.
- [80] M. Kac, 陽一郎高橋, 眞澄中嶋. 『Kac 統計的独立性』. 数学書房, 4 2011.
- [81] Mark Kac. Can one hear the shape of a drum? *American Mathematical Monthly*, Vol. 73, pp. 1–23, 1966.
- [82] 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.
- [83] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [84] R. Kadison and J. Ringrose. *Fundamentals of the Theory of Operator Algebras: Advanced Theory*. American Mathematical Society, 7 1997.
- [85] 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.
- [86] 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』. ちくま学芸文庫, 4 2012.
- [87] 加藤五郎. 『コホモロジーのこころ』. 岩波書店, 3 2003.
- [88] 桂利行. 『代数学幾何入門』. 共立出版, 10 1998.
- [89] 桂利行. 『代数学 I 群と環』. 東京大学出版会, 3 2004.
- [90] 桂利行. 『代数学 III 体とガロア理論』. 東京大学出版会, 9 2005.
- [91] 桂利行. 『代数学 II 環上の加群』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [92] Victor J. Katz. 『カッツ 数学の歴史』. 共立出版, 7 2005.
- [93] 河合隆裕, 竹井義次. 『特異摂動の代数学解析』. 岩波書店, 5 2008.
- [94] 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.
- [95] 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.
- [96] 圏論の歩き方委員会. 『圏論の歩き方』. 日本評論社, 9 2015.
- [97] 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.
- [98] 木村達雄. 『佐藤幹夫の数学』. 日本評論社, 9 2014.
- [99] Charles Kittel. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley and Sons, 12 2004.
- [100] 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.
- [101] 小林俊行, 大島利雄. 『リー群と表現論』. 岩波書店, 4 2005.
- [102] 小平邦彦. 『新・数学の学び方』. 岩波書店, 1 2015.
- [103] 小平邦彦. 『複素多様体論』. 岩波書店, 1 2015.
- [104] 国立天文台. 『理科年表 平成 25 年版 机上版』. 丸善出版, 11 2013.
- [105] A. N. Kolmogorov and S. V. Fomin. *Introductory Real Analysis*. Dover, 6 1975.
- [106] 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.
- [107] 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.
- [108] エリランダウ, リフシッツイエ. 『力学』. ランダウ=リフシッツ理論物理学教程. 東京図書, 4 1986.
- [109] Saunders Mac Lane. *Categories for the Working Mathematician*. Springer, 12 1998.
- [110] 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.
- [111] J. Lőrinczi, F. Hiroshima, and V. Betz. *Feynman-Kac-Type Theorems and Gibbs Measures on Path Space: With Applications to Rigorous Quantum Field Theory*. Walter De Gruyter, 6 2011.
- [112] E. H. Lieb and M. Loss. *Analysis*. Amer. Math. Soc., 4 2001.
- [113] E. H. Lieb and R. Seiringer. *The Stability of Matter in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 11 2009.
- [114] E. H. Lieb, R. Seiringer, J. Solovej, and J. Yngvason. *The Mathematics of*

- the Bose Gas and its Condensation (Oberwolfach Seminars)*. Birkhauser Basel, 7 2005.
- [115] E. H. Lieb and B. Simon. Thomas-fermi theory of atoms, molecules and solids. *Adv. in Math.*, Vol. 23, pp. 22–116, 1977.
- [116] 松本幸夫. 『多様体の基礎』. 岩波書店, 9 1988.
- [117] 松村英之. 『可換環論』. 共立出版, 9 2000.
- [118] 松坂和夫. 『集合・位相入門』. 岩波書店, 6 1968.
- [119] David Mermin. *Boojums all the Way Through | Communicating Science in a Prosaic Age*. Cambridge University Press, 1990.
- [120] John Milnor. *Morse Theory*. Princeton University Press, 1963.
- [121] John Willard Milnor. *Topology from the Differentiable Viewpoint*. Princeton Univ Pr, 11 1997.
- [122] 三ツ矢和弘. 『やさしい理系数学』. 河合出版, 7 2013.
- [123] 森本光生. 『復刊 佐藤超函数入門』. 共立出版, 9 2000.
- [124] Mohammad Sal Moslehian. The counterexamples in functional analysis. *On the internet*, 2002.
- [125] Mikio Nakahara. *Geometry, Topology and Physics*. CRC Press, 6 2003.
- [126] 中村徹. 『超準解析と物理学』. 日本評論社, 6 1998.
- [127] 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.
- [128] 西川青季. 『幾何学的変分問題』. 岩波書店, 4 2006.
- [129] 登坂宣好, 大西和栄, 山本昌宏. 『逆問題の数理解法-偏微分方程式の逆解析』. 東京大学出版会, 12 1999.
- [130] 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.
- [131] 緒方芳子, 小澤登高. 『東大数理ビデオアーカイブス』, 12 2009.
- [132] 小川洋子. 『博士の愛した数式』. 新潮社, 11 2005.
- [133] 小嶋泉. 『量子場とマイクロ・マクロ双対性』. 丸善出版, 7 2013.
- [134] 太田浩一. 『電磁気学 II』. 丸善出版, 10 2000.
- [135] 太田浩一. 『電磁気学 I』. 丸善出版, 10 2000.

-
- [136] 太田浩一. 『マクスウェル理論の基礎-相対論と電磁気学』. 東京大学出版会, 7 2002.
- [137] 王城夕紀. 『青の数学』. 新潮社, 7 2016.
- [138] Scott Pakin. The comprehensive latex symbol list. p. 331, 11 2015.
- [139] Alberto Parmeggiani. *Spectral Theory of Non-Commutative Harmonic Oscillators: An Introduction*. Springer Berlin Heidelberg, 4 2010.
- [140] A. Peres. *Quantum Theory—Concepts and Methods*. Fundamental Theories of Physics. Springer, 9 1995.
- [141] Lev Pontryagin. 連続群論 上. 岩波書店, 10 1957.
- [142] Lev Pontryagin. 連続群論 下. 岩波書店, 5 1958.
- [143] Bott Raoul and Tu W. Loring. *Differential Forms in Algebraic Topology*. Springer, 5 1995.
- [144] M. Reed and B. Simon. *Functional Analysis*. Methods of Modern Mathematical Physics. Academic Press, 4 1981.
- [145] 齋藤毅. 『集合と位相』. 東京大学出版会, 9 2009.
- [146] 齋藤正彦. 『線型代数入門』. 東京大学出版会, 3 1966.
- [147] 坂井秀隆. 『常微分方程式』. 東京大学出版会, 8 2015.
- [148] 佐武一郎. 『線型代数学 (新装版)』. 裳華房, 6 2015.
- [149] 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.
- [150] 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.
- [151] 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.
- [152] Y. Sekine. Magnetism and infrared divergence in a hubbard-phonon interacting system. *arxiv:10082056*, pp. 1–9, 8 2010.
- [153] 関根良紹. 『現代数学探険隊』. 相転移プロダクション, 2017.

- [154] Jean-Pierre Serre. Faisceaux algebriques coherents. *The Annals of Mathematics*, Vol. 61, pp. 197–278, 3 1955.
- [155] 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.
- [156] 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.
- [157] 清水明. 『熱力学の基礎』. 東京大学出版会, 3 2007.
- [158] シンサイモン. 『暗号解説 下』. 新潮社, 6 2007.
- [159] シンサイモン. 『暗号解説 上』. 新潮社, 6 2007.
- [160] Jan Philip Solovej. Book review: Stability of matter in quantum mechanics by Elliott H. Lieb and Robert Seiringer. *arXiv:11110170*, pp. 1–7, 11 2011.
- [161] 相転移 P. 『よくわからない数学 色々な反例で遊ぼう』, 10 2013.
- [162] 相転移 P. *Math textbook*. phasetr production, 2014.
- [163] 相転移 P. 『理工系新入生のための線型代数入門: 微分積分的観点から』, よくわからない数学. 相転移プロダクション, 7 2014.
- [164] 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.
- [165] 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.
- [166] 杉浦光夫. 『解析入門 I』. 東京大学出版会, 3 1980.
- [167] 砂川重信. 『理論電磁気学』. 紀伊國屋書店, 9 1999.
- [168] 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.
- [169] 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.
- [170] 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.

-
- [171] 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.
- [172] Richard G. Swan. Vector bundles and projective modules. *Transactions of the American Mathematical Society*, Vol. 105, pp. 264–277, 1962.
- [173] George G. Szpiro. 『ケプラー予想』. 新潮社, 4 2005.
- [174] 高木貞治. 『定本 解析概論』. 岩波書店, 9 2010.
- [175] 高橋信. 『マンガでわかる統計学』. オーム社, 7 2004.
- [176] 高瀬幸一. 『群の表現論序説』. 岩波書店, 5 2013.
- [177] 高瀬正仁. 『岡潔—数学の詩人』. 岩波書店, 10 2008.
- [178] 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.
- [179] 高瀬正仁. 『ガウスの数論 わたしのガウス』. 筑摩書房, 3 2011.
- [180] 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.
- [181] 高瀬正仁. 『微分積分学の史的展開 ライプニッツから高木貞治まで』. 講談社, 1 2015.
- [182] 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.
- [183] 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.
- [184] 田崎清明. 『数学:物理を学び楽しむために』. On the internet, 2013.
- [185] 田崎清明. 『熱力学—現代的な視点から』. 培風館, 4 2000.
- [186] 田崎清明. 『統計力学 I』. 培風館, 12 2008.
- [187] 田崎清明. 『統計力学 II』. 培風館, 12 2008.
- [188] Gerald Teschl. *Mathematical Methods in Quantum Mechanics With Applications to Schrödinger Operators*. American Mathematical Society, 11 2014.
- [189] 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.
- [190] 土基善文. 『 x の x 乗の話』．日本評論社，7 2002.
- [191] 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.
- [192] 植村信子. 『たかが数学，されど数学』．山形大学，10 2005.
- [193] 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.
- [194] 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.
- [195] 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.
- [196] Masato Wakayama. 『非可換調和振動子のスペクトルゼータ関数』．数理解析研究所講究録，Vol. 1479, pp. 26–39, 2006.
- [197] Charles A. Weibel. *An Introduction to Homological Algebra*. Cambridge University Press, 10 1995.
- [198] Hermann Weyl. *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. Dover Publications, 6 1950.
- [199] Hermann Weyl. 『リーマン面』．岩波書店，5 2003.
- [200] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 下』．ちくま学芸文庫. 筑摩書房，4 2007.
- [201] Hermann Weyl. 『空間・時間・物質 上』．ちくま学芸文庫. 筑摩書房，4 2007.
- [202] 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.
- [203] 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.
- [204] Pauli Wolfgang. *Theory of Relativity*. Dover Publications, 7 1981.
- [205] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 I』．朝倉書店，9 1998.
- [206] 山本義隆, 中村孔一. 『解析力学 II』．朝倉書店，9 1998.

-
- [207] 山内恭彦, 杉浦光夫. 『連続群論入門』. 培風館, 8 2010.
- [208] 安田まさえ. 『数学女子 1』. 竹書房, 9 2010.
- [209] 保江邦夫. 『量子の道草-方程式のある風景』. 日本評論社, 1 2009.
- [210] 吉田武. 『素数夜曲 女王陛下の LISP』. 東海大学出版会, 6 2012.
- [211] L. C. Young. *Lectures on the calculus of variations and optimal control theory*. Saunders, Philadelphia, 5 1969.
- [212] 結城浩. 『数学ガール』. ソフトバンククリエイティブ, 6 2007.
- [213] 結城浩. 『数学ガールの秘密ノート/ベクトルの真実』. 数学ガールの秘密ノートシリーズ. SB クリエイティブ, 11 2015.
- [214] 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.
- [215] 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.
- [216] 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.

索引

Bose-Einstein 凝縮, 906

Dobrushin-Lanford-Ruelle 条件, 900

Fourier 級数, 894

Fourier 変換, 894

infrared bound, 907

Ising 模型, 892

KMS 条件, 927

KMS 状態, 928

Peierls argument, 901

演算子, 915

オブザーバブル, 915, 920

回路理論, 905

確率論, 892

観測可能量, 915, 920

基底エネルギー, 922

基底状態, 922

群, 903

格子模型, 891

固体物理, 891

固有値, 922

固有ベクトル, 922

示量性, 894

自己共役作用素, 915, 920

自発的対称性の破れ, 902

自由エネルギー, 893

状態, 899, 915, 917, 919, 926

状態ベクトル, 915, 919

スピン系, 891

正則, 894

線型性, 899

線型代数, 891

相, 892

相転移, 892

統計力学, 892

トポロジー, 892

トレースクラス, 927

ドメインウォール, 903

熱力学関数, 894

熱力学的極限, 894, 923

Heisenberg 鎖, 919

Heisenberg 模型, 919

発散の困難, 905

場の量子論, 905

Pauli 行列, 919

Hilbert 空間, 915, 919

微分積分, 891

物理量, 915, 920

分配関数, 925

ベクトル状態, 900

ホモトピー, 892

無限系, 898, 923

有限系, 898