

---

# PREFACE TO THE JAPANESE EDITION

I am very pleased to present a new Japanese edition of *Introduction to the Theory of Computation* to Japanese readers who are interested in this subject. As I wrote in the Preface of the first Japanese Edition, in the spring of 1995 I was fortunate to visit Japan as a guest of the cryptography group run by Tatsuaki Okamoto and Kazuo Ohta in NTT Yokosuka Research and Development Center. I found the people very friendly and the countryside very beautiful.

I express here my appreciation to everyone who participated in producing this new Japanese Edition.

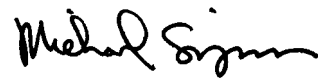
For the First Edition, the translators shared their work as follows: Kazuo Ohta originally conceived of this project and organized all of its parts. Hiroki Ueda translated Chapters 0 and 1, Atsushi Fujioka did Chapters 2, 3, 4 and 8.4-8.6, Keisuke Tanaka did Chapter 6 and 7, Masayuki Abe did Chapter 9 and 10, and Kazuo Ohta did Chapter 5 and 8.1-8.3. Professor Osamu Watanabe at Tokyo Institute of Technology participated in the supervision of

the translation and checked the quality of the translation and the consistency of the terminology with that used in previous Japanese textbooks.

For the Second Edition, the translators exchanged a few tasks. At the time of the Second Edition, their affiliations had been greatly changed: Kazuo Ohta left NTT and became a professor at The University of Electro-Communications. Keisuke Tanaka also left NTT and joined Professor Osamu Watanabe's project as an associate professor at Tokyo Institute of Technology. Hiroki Ueda was transferred to NTT West. Masayuki Abe and Atsushi Fujioka were moved to NTT Research Laboratories in Musashino.

Dear Reader, I welcome you to the study of the theory of computation. I hope you find it interesting and enjoyable.

*January, 2008*

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michael Sipser". The signature is written in a cursive, flowing style.

## ..... 翻訳にあたって

計算の理論の世界へ、ようこそ！

Michael Sipser 教授の「Theory of Computation」の講義も、本書と同様に、このフレンドリーな挨拶から始まりました。彼の講義は MIT 屈指の名講義で、教室には活気と笑いがあふれていました。2, 3 回の聴講を考えていた太田はその魅力に魅せられて、91 年秋学期の全講義に出席しました。

本書は Sipser 教授の MIT での講義ノートをもとにまとめられたものです。計算の理論の主テーマである、オートマトンと言語の理論、計算可能性の理論、そして複雑さの理論をカバーしています。

「まえがき」を含めて、随所に講義の雰囲気を感じられます。定理を述べたあと直ちに証明に取りかからずに、証明のアイデアを与える工夫、証明の失敗例に言及して理解を深めさせるなど、教育的な配慮の行き届いた教科書だと言えます。

彼の講義には学生から最高の評価が与えられましたが、「どうしてマイクの教科書がないんだ」という声をよく耳にしました。その待望の教科書が、1996 年に出版された「Introduction to the Theory of Computation」(初版)でした。この本は瞬く間に、この分野の標準的な教科書となりました。

2005 年には、初版の内容に「選ばれた問題」に対する解答を追加し、いくつかの話題については、初版出版後の研究の進展を反映すべく改訂を行った第 2 版が出版されました。

Sipser 教授から「教科書を準備中だ」と伺った瞬間、あのすばらしい講義の感動が思い出され、ぜひ日本語にして紹介したいと思いました。翻訳の話を共立出版にしましたところ、興味をもってくださり、今回の出版につながりました。お世話いただきました、共立出版の小山透氏と石井徹也氏にお礼申し上げます。

かねてからこの本を使って講義を行ってきた先生方から、ページ数が多いため高価格となっているので教科書に指定しにくい、という教育現場からの声があり、教科書として指定可能な価格にするための分冊化の希望が出ておりました。第2版の翻訳にあって、共立出版には、訳者からの第2版改訂に併せての分冊化の提案について、快諾いただきました。

Sipser 教授には、95年春に NTT 研究所に招聘教授としておいでいただきました。そのとき彼から講義を受けたメンバーが初版の翻訳に引き続いて、第2版の翻訳も行いました。第0, 1章を植田が、第2, 3, 4章および8章の後半(8.4節以降)を藤岡が、第6, 7章については初版は田中が、第2版は渡辺が、第9, 10章を阿部が、第5章と第8章の前半(8.3節まで)を太田が担当いたしました。

初版では、渡辺治先生に一通り翻訳が終わった時点で原稿を読んでいただき、訳語の妥当性、翻訳のスタイルなど実に多岐にわたり、懇切丁寧かつ熱心なご指導をいただきました。第2版では、田中が全体にわたっての調整などを担当いたしました。

アルゴリズムの英語表現の確認など細かな点において、古くからの友人である Carolyn Haiht Norton のお世話になりました。また、数理論理学の用語については鹿島亮先生にアドバイスをいただきました。

用語等の不統一は、全体の取りまとめにあった太田(初版)と田中(第2版)の責任です。

最後に、翻訳中の多くの質問、疑問に対していつでも親切に対応してくださいました Sipser 教授に深く感謝いたします。

東京都、調布 と 大岡山

2008年4月

訳者を代表して 太田和夫 と 田中圭介

---

## 第2版へのまえがき

みなさんから受け取った多くの電子メールから、初版に最も欠けているものは問題の解を一つも与えなかったことだとわかりました。したがって、この版では解を与えるようにしました。すべての章に新たに**解答**の節を置いて、章末の演習と問題の代表的なものに対して解答を与えています。解答を与えた問題は興味深い宿題として使うことはできませんが、その埋め合わせとしてさまざまな新たな問題を加えています。教員は [www.course.com](http://www.course.com) に掲載されている販売担当者に連絡をとることによって、本書よりも多くの解答を含む教員用引きを求めすることもできます。

多くの読者は Myhill–Nerode 定理や Rice の定理などの特定の「標準的な話題」をより多く扱ってほしいと思うかもしれません。本書では、解答を与えた問題の中でこれらの話題を扱うことにより、そのような読者の要求に部分的にですが応えています。しかしながら、この本の本文には Myhill–Nerode 定理は含めないことにしました。なぜならば、このコースでは有限オートマトンの入門のみを与えるべきで、深い内容は扱うべきではないと私は信じているからです。本書で私が考える有限オートマトンの役割は、学生がより強力な計算モデルの導入として単純な形式的モデルについて調べることと、後に続く話題を扱うために便利

な例を与えることです。もちろん，より徹底的な取り扱いを好む人もいるかもしれない一方で，有限オートマトンにすべてを関連づけること（あるいは少なくとも頼ること）をやめるべきであると感じる人もいるかもしれません。この本の本文には Rice の定理を含めていません。なぜならば，この定理は判定不可能性を証明するための便利な「道具」であるにもかかわらず，何が起きているかを本当には理解せずに機械的に利用してしまう学生がいるからです。代わりに，判定不可能性を証明するために帰着を用いることで，計算の複雑さの理論で現れる帰着を理解するための価値ある準備になるでしょう。

私のティーチング・アシスタントをしてくれた Ilya Baran, Sergi Elizalde, Rui Fan, Jonathan Feldman, Venkatesan Guruswami, Prahladh Harsha, Christos Kapoutsis, Julia Khodor, Adam Klivans, Kevin Matulef, Ioana Popescu, April Rasala, Sofya Raskhodnikova, Iuliu Vasilescu に感謝します。彼らには新しい問題とその解答を作り出すのを助けてもらいました。Ching Law, Edmond Kayi Lee, Zulfikar Ramzan は解答を見つけるのに貢献してくれました。Victor Shoup に感謝しています。彼は初版にあった確率的素数判定アルゴリズムの解析のギャップを埋める簡単な方法を見つけ出してくれました。Course Technology の方々，特に，Alyssa Pratt と Aimee Poirier に感謝します。彼らのおかげで翻訳の作業を押し進めることができました。Gerald Eisman, Weizhen Mao, Rupak Majumdar, Chris Umans, Christopher Wilson にも感謝しています。彼らには原稿を注意深く見直してもらいました。すばらしい印刷編集をしてくれた Jerry Moore と，細かく美しい図をつくってくれた ByteGraphics の Laura Segel (lauras@bytegraphics.com) にも感謝しています。

これまでに受け取った電子メールの量は想像以上でした。多くの地域からの多くの読者のメッセージをいただいたことはとても嬉しいことです。すべてのメッセージに返信しようとしたのですが，できていない場合にはお許しください。ここでは，この版を作るにあたって特に参考となる意見をくれた人の名前を挙げますが，メッセージをくれたすべての人に感謝しています。

Luca Aceto, Arash Afkanpour, Rostom Aghanian, Eric Allender, Karun Bakshi, Brad Ballinger, Ray Bartkus, Louis Barton, Arnold Beckmann, Mihir Bellare, Kevin Trent Bergeson, Matthew Berman, Rajesh Bhatt, Somenath Biswas, Lenore Blum, Mauro A. Bonatti, Paul Bondin, Nicholas Bone, Ian Bratt, Gene Browder, Doug Burke, Sam Buss, Vladimir Bychkovsky, Bruce Carneal, Soma Chaudhuri, Rong-Jaye Chen, Samir Chopra, Benny Chor, John Clausen, Allison Coates, Anne Condon, Jeffrey Considine, John J.

Crashell, Claude Crepeau, Shaun Cutts, Susheel M. Daswani, Geoff Davis, Scott Dexter, Peter Drake, Jeff Edmonds, Yaakov Eisenberg, Kurtcebe Eroglu, Georg Essl, Alexander T. Fader, Farzan Fallah, Faith Fich, Joseph E. Fitzgerald, Perry Fizzano, David Ford, Jeannie Fromer, Kevin Fu, Atsushi Fujioka, Michel Galley, K. Ganesan, Simson Garfinkel, Travis Gebhardt, Peymann Gohari, Ganesh Gopalakrishnan, Steven Greenberg, Larry Griffith, Jerry Grossman, Rudolf de Haan, Michael Halper, Nick Harvey, Mack Hendricks, Laurie Hiyakumoto, Steve Hockema, Michael Hoehle, Shahadat Hossain, Dave Isecke, Ghaith Issa, Raj D. Iyer, Christian Jacobi, Thomas Janzen, Mike D. Jones, Max Kanovitch, Aaron Kaufman, Roger Khazan, Sarfraz Khurshid, Kevin Killourhy, Seungjoo Kim, Victor Kuncak, Kanata Kuroda, Suk Y. Lee, Edward D. Legenski, Li-Wei Lehman, Kong Lei, Zsolt Lengvarszky, Jeffrey Levetin, Baekjun Lim, Karen Livescu, Thomas Lasko, Stephen Louie, TzerHung Low, Wolfgang Maass, Arash Madani, Michael Manapat, Wojciech Marchewka, David M. Martin Jr., Anders Martinson, Lyle McGeoch, Alberto Medina, Kurt Mehlhorn, Nihar Mehta, Albert R. Meyer, Thomas Minka, Mariya Minkova, Daichi Mizuguchi, G. Allen Morris III, Damon Mosk-Aoyama, Xiaolong Mou, Paul Muir, German Muller, Donald Nelson, Gabriel Nivasch, Mary Obelnicki, Kazuo Ohta, Thomas M. Oleson, Jr., Curtis Oliver, Owen Ozier, Rene Peralta, Alexander Perlis, Holger Petersen, Detlef Plump, Robert Prince, David Pritchard, Bina Reed, Nicholas Riley, Ronald Rivest, Robert Robinson, Christi Rockwell, Phil Rogaway, Max Rozenoer, John Rupf, Teodor Rus, Larry Ruzzo, Brian Sanders, Cem Say, Kim Schioett, Joel Seiferas, Joao Carlos Setubal, Geoff Lee Seyon, Mark Skandera, Bob Sloan, Geoff Smith, Marc L. Smith, Stephen Smith, Alex C. Snoeren, Guy St-Denis, Larry Stockmeyer, Radu Stoleru, David Stucki, Hisham M. Sueyllam, Kenneth Tam, Elizabeth Thompson, Michel Toulouse, Eric Tria, Chittaranjan Tripathy, Dan Trubow, Hiroki Ueda, Giora Unger, Kurt L. Van Etten, Jesir Vargas, Bienvenido Velez-Rivera, Kobus Vos, Alex Vrenios, Sven Waibel, Marc Waldman, Tom Whaley, Anthony Widjaja, Sean Williams, Joseph N. Wilson, Chris Van Wyk, Guangming Xing, Vee Voon Yee, Cheng Yongxi, Neal Young, Timothy Yuen, Kyle Yung, Jinghua Zhang, Lilla Zollei.

第一刷にあった誤りを指摘してくれた Suzanne Balik, Matthew Kane, Kurt

xvi 第 2 版へのまえがき

L. Van Etten, Nancy Lynch, Gregory Roberts, Cem Say に感謝しています .

一番感謝したいのは私の家族, Ina, Rachel, Aaron です . コンピュータの画面の前に何時間も私が座っていても, 耐えて, 理解し, 愛してくれて, ありがとう .

マサチューセッツ州, ケンブリッジ

2004 年 12 月

*Michael Sipser*



---

# 初版へのまえがき

## 学生諸君へ

計算の理論の世界へ，ようこそ!

諸君は，魅力的でかつ重要な科目である「計算の理論」に取りかかろうとしています．この科目では，計算機のハードウェア，ソフトウェア，およびそれらの応用に関する基本的な数学的性質について学びます．具体的には，何を計算できて何を計算できないか？ また，どれくらい速く，どれくらいのメモリ使用量で計算できるか？ さらに，そうした計算が，どのタイプの計算モデルで可能となるのか？ などについて勉強していきます．この科目で学ぶ話題の中には，工学的で直ちに実用と結びつくようなものもあります．また，多くの科学と同様に，この科目は純粋に哲学的な面も備えています．

諸君の多くは，これらの話題に興味をもち，勉強したいと思ってくれるでしょう．しかし，中には選択の余地なくここにおり，それほど勉強したくない人もいます．私も知っています．この授業に来た理由は，計算機科学や計算機工学で学位を取得したいのかもしれないし，理論のコースが必須なのかもしれません．

まさに「神のみぞ知る」です。そうした人にとっては、結局、理論は難解で、退屈で、最悪で、そして無意味なのでしょう？

しかし、この教科書を読み進むなかで、理論が難解でもないし退屈なものでもないことに気づいてくれると思います。よく理解できるし、それどころかおもしろいものだとわかってくれるでしょう。理論的な計算機科学には、多数の魅力的なアイデアがあります。もちろん、こまごまとした、ときには退屈でうんざりするようなことも多くあるでしょう。そうした大変さは、どんな科目にもあります。けれども、主題が適切に説明されていけば、それを勉強していくのが容易となり、また、楽しいものになります。私がこの教科書を書いた最大の目的は、諸君に、理論計算機科学の真に興奮できるおもしろいテーマに触れてもらうためなのです。それも、骨折り仕事で泥沼にはまり込むことなしにです。もちろん、諸君が理論を好きになるための唯一の方法は、それを学ぼうとすることです。

理論を学ぶことの重要性について少し述べてみましょう。まず、理論は実用と関係があります。理論は、計算機工学で実務家が使う概念的な道具を作り出します。たとえば、ある特殊な用途のためのプログラミング言語を設計する場合はどうでしょうか？ **文法** (*grammar*) について諸君がこの科目で学ぶことが役に立ちます。文字列探索とパターンマッチングについては、どうでしょうか？ これから学ぶ、**有限オートマトン** (*finite automaton*) と**正規表現** (*regular expression*) の話を思い出してください。諸君が割くことができるよりも多くの計算時間を必要としそうな問題に出会ったときはどうでしょうか？ **NP 完全性** (*NP-completeness*) について習うことを振り返ってみてください。その他にも、現代暗号プロトコルのようないろいろな応用分野で、我々がこれから学ぼうとしている理論的な原理が基礎となっています。

理論は諸君自身にも関係してきます。計算機は大変複雑な機械です。けれども、理論は、計算機の本質、簡潔でエレガントな部分を諸君に見せてくれるのです。つまり、理論は、諸君に美しさを教え、諸君の審美眼を高めてくれるのです。この審美眼こそが、最適な計算機設計やすぐれた応用システムの開発に重要なのです。この科目は、諸君に美しさを教え、将来、諸君がエレガントなシステムを構築するのを助けることでしょう。

そして、理論の勉強は諸君の思考の幅を広げます。計算機技術は急速に変化します。特定の技術知識は、それが今日役立つものであっても、ほんの2、3年のうちに時代遅れになります。それよりも、思考し、自分を明確にかつ正確に表現し、問題を解決し、そしてどんな場合に問題が解け、どんな場合が解けないのかを知る能力のほうがずっと役に立つでしょう。これらの能力には、はやりすたりはあ

りません。理論を勉強することは、こうした能力の訓練となるのです。

以上、理論の実際的な価値を述べてきましたが、率直なところ、人を理論に駆り立てるのは好奇心です。計算機を使って仕事をしているほとんどすべての人は、計算機のすばらしい創造力、能力、そして限界についてもっと知りたいと思っています。過去 30 年間に、これらの基本的な疑問を明らかにするために、数学のまったく新しい分野が成長してきました。それが、計算の理論です。一つ、現在未解決の大問題をあげましょう。たとえば 500 桁の大きな数が与えられたとき、その因数（その数を割り切る数）を現実的な時間で見つけることができるでしょうか？ 現在知られている最も速い方法でも、そしてスーパーコンピュータを使ったとしても、**この宇宙が終わるまでに計算できないのです!** この素因数分解問題は、現代暗号のある暗号方式に関連しています。さあ、素因数分解を高速に求める方法を見つけましょう。そうすれば、名声はあなたのものです。

## 教員の方々へ

本書は、計算機科学理論の学部上級あるいは大学院初級の教科書として書かれています。定理とその証明を中心に、この科目の主要な話題を数学的に扱っています。定理を証明することに慣れている学生よりも、この種の経験に乏しい学生を対象にできるよう工夫しました。

教材を示す際には、教材を明確にかつ興味深いものにするように努めました。その場合にも、枝葉末節の詳細な点より問題の直観的な理解や「概観」を得ることを重視しました。

たとえば、帰納法による証明は、第 0 章で他の数学的な準備と一緒に説明しますが、それ以降はほとんど使いません。私は普通、オートマトンに関する種々の構成法の正しさを通常の帰納法では証明しません。構成法が明快に示されていれば、納得させるにはそれで十分ですし、余計な議論は不要だからです。帰納法による証明は、どちらかという洗練された技法で、人を煙にまくところがあるので、物事を明らかにしてくれるというより、むしろ本質を見失わせる可能性があります。帰納法を用いて、明らかかなことをあれこれと論じることは、むしろ、数学的証明が形式的な小細工であるという印象を与えてしまう恐れさえあるでしょう。

2 番目の例は第 2 部と第 3 部にあります。ここでは、擬似コードは使わず、散文体でアルゴリズムを記述します。Turing 機械（あるいは他のすべての形式的モデル）のプログラミングは簡単にすませます。最近の学生は、プログラミングの予備知識が身につけているので、Church-Turing の提唱を自明のこととして受け

入れます。それゆえ、二つのモデルの同値性を示すために、一方のモデルによるもう一方のシミュレーションを長々と論じませんでした。

いろいろと直観的な説明を加えたり、逆に、不必要と思われる詳細を省略したりするほかは、主要な話題を、いわゆる古典的な流れに沿って説明していきます。選ぶ話題、用語、それに説明の順序などは、他の広く使われている教科書のやり方にほぼ従っています。ただし、標準的な用語でも、その意味が不明確だったり、混乱を招くと判断したときには、数箇所だけですが、独自の用語を導入しました。たとえば、**多対一帰着可能性** (*many-one reducibility*) の代わりに、**写像帰着可能性** (*mapping reducibility*) という用語を導入しています<sup>1</sup>。

問題を解く練習は、どんな数学的な科目を学ぶ上でも本質的です。この本では、問題を**演習**と**問題**の二つのカテゴリーに分類しています。演習では、定義と概念について復習します。問題では、何らかの工夫を要求します。難しい問題には、星印を付けました。演習と問題の両方とも、学生にとっておもしろい挑戦となるよう努力しました。

## 初版について

『**計算理論の基礎**』は準備版としてまずペーパーバックで出版しました。現在の版には、準備版とは本質的に異なる点がいくつかあります。最後の三つの章は新しく、第 8 章では領域の複雑さ、第 9 章では証明可能な問題の扱いにくさ、第 10 章では計算の複雑さの理論の先進的なトピックスを扱っています。第 6 章は、計算可能性の理論の進んだ話題もいくつか取り入れて拡張しました。他の章は例と練習を追加して改訂しました。

準備版を使用した教員および学生からのコメントは、第 0 章から第 7 章の完成度を高めるのに役立ちました。もちろん、彼らが報告してくれた誤りは、この版で訂正しています。

第 6 章と第 10 章には、計算可能性と複雑さの理論に関する先進的な話題についての解説を入れました。他の章とは違い、それらの話題を取り入れる際には、相互の関連性についてはあまり考慮していません。これらの章では、熱心な学生が興味を示すと思われる話題を教員が選択できるようにしてあります。各話題はそれ自体で広い範囲をカバーしています。選んだ話題の中には、**Turing 帰着可能性** (*Turing reducibility*) や**交替性** (*alternation*) のように、本書で紹介した概

<sup>1</sup> 訳注：本書では“reduction”を「帰着」、「reducibility」を「帰着可能性」と訳したが、他の教科書では、それぞれ「還元」、「還元(可能)性」と呼ばれることもある。

念の直接の拡張であるものもあります。また、**判定可能な論理の理論** (*decidable logical theory*) や**暗号** (*cryptography*) のように、大きな研究分野を簡単に紹介しているような場合もあります。

## 著者へのフィードバック

インターネットによって、著者と読者が直接対話できるようになってきました。準備版に対しては、提案、お褒めの言葉、批評、そして誤りを指摘する電子メールを多数いただきました。引き続き連絡をお願いします。時間の許す限り、それぞれのメッセージに対して個人的に返事を出そうと努力しております。本書に関連した通信用の電子メールアドレスとして、

sipsrbook@math.mit.edu

を用意しています<sup>2</sup>。誤りのリストを掲載しているウェブサイトを開設しています。教員と学生を助けるために、そのサイトには他の教材も追加されるかもしれませんが。皆さんがそこで見たいものをお知らせください。サイトの場所は

<http://www-math.mit.edu/~sipsr/book.html>

です。

## 謝辞

友人、同僚、そして家族の助けがなければ、この本は書かれなかったであります。

私の科学的な視点と教育のスタイルを形成するのを助けてくれた先生方に感謝します。特に、次の5人に深く感謝します。私の指導教員である Manuel Blum の、明晰な思考、熱心さ、そして学生をその気にさせる独特の配慮は特筆に値します。彼は私にとって、また多くの人々にとってのモデルであります。計算の複雑さの理論に引き合わせてくれた Richard Karp、論理を教えてもらい、かつすばらしい宿題集を割り当ててくれた John Addison、計算の理論に引き合わせてくれた Juris Hartmanis、数学、計算機、そして教育法に引き合わせてくれた私

<sup>2</sup> 訳注：日本語版の誤りについては、

sipsrbook@is.titech.ac.jp

にご連絡ください。

の父に感謝しています。

この本は、過去 15 年間 MIT で私が教えてきた授業の講義ノートを基にしています。私のクラスの学生諸君が私の講義を講義ノートにしてくれました。私がそれら学生諸君の名前を、ここにすべてあげなくても許していただけるものと思います。こうした講義の助手 (teaching assistant) をしてくれた Avrim Blum, Thang Bui, Andrew Chou, Benny Chor, Stavros Cosmadakis, Aditi Dhagat, Wayne Goddard, Parry Husbands, Dina Kravets, Jakov Kučan, Brian O'Neill, Ioana Popescu, Alex Russell は、私がこれらの講義ノートを編集し拡充するのを助け、また、練習問題を作ってくれました。

いまからおよそ 3 年前に、Tom Leighton が私に計算の理論についての教科書を書くことを強く勧めてくれました。いつの日にかそうしたいものだと考え続けておりましたが、Tom の勧めこそが、計画を現実に変えました。私は、本を書くこと、それにその他の多くのことに対する彼の惜しみない助言に感謝します。

本書を書き進める際にコメント、提言、助言をいただいた、Eric Bach, Peter Beebe, Cris Calude, Marek Chrobak, Anna Chefter, Guang-Ien Cheng, Elias Dahlhaus, Michael Fischer, Steve Fisk, Lance Fortnow, Henry J. Friedman, Jack Fu, Seymour Ginsburg, Oded Goldreich, Brian Grossman, David Harel, Micha Hofri, Dung T. Huynh, Neil Jones, H. Chad Lane, Kevin Lin, Michael Loui, Silvio Micali, Tadao Murata, Christos Papadimitriou, Vaughan Pratt, Daniel Rosenband, Brian Scassellati, Ashish Sharma, Nir Shavit, Alexander Shen, Ilya Shlyakhter, Matt Stallmann, Perry Susskind, Y. C. Tay, Joseph Traub, Osamu Watanabe, Peter Widmayer, David Williamson, Derick Wood, Charles Yang に感謝します。

次の方々からは、本書を良くするためのコメントをいただきました: Isam M. Abdelhameed, Eric Allender, Michelle Atherton, Rolfe Blodgett, Al Briggs, Brian E. Brooks, Jonathan Buss, Jin Yi Cai, Steve Chapel, David Chow, Michael Ehrlich, Yaakov Eisenberg, Farzan Fallah, Shaun Flisakowski, Hjalmtyr Hafsteinsson, C. R. Hale, Maurice Herlihy, Vegard Holmedahl, Sandy Irani, Kevin Jiang, Rhys Price Jones, James M. Jowdy, David M. Martin Jr., Manrique Mata-Montero, Ryota Matsuura, Thomas Minka, Farooq Mohammed, Tadao Murata, Jason Murray, Hideo Nagahashi, Kazuo Ohta, Constantine Papageorgiou, Joseph Raj, Rick Regan, Rhonda A. Reumann, Michael Rintzler, Arnold L. Rosenberg, Larry Roske, Max Rozenoer, Walter L. Ruzzo, Sanatan Sahgal, Leonard Schulman, Steve Seiden, Joel Seiferas,

Ambuj Singh, David J. Stucki, Jayram S. Thathachar, H. Venkateswaran, Tom Whaley, Christopher Van Wyk, Kyle Young, Kyoung Hwan Yun.

Robert Sloan は本書の初期の版を彼のクラスで使用し、その経験から非常に貴重な記録とアイデアを提供してくれました。Mark Herschberg, Kazuo Ohta, Latanya Sweeney は、原稿に目を通し、広範な改良点を提案してくれました。Shafi Goldwasser は第 10 章でふれた材料について助言をしてくれました。

本書の装丁に関する  $\text{\LaTeX}$  マクロパッケージを書いてくれた Superscript 社の William Baxter, それにすべてをうまく動かしてくれた MIT 数学科の Larry Nolan から、 $\text{\LaTeX}$  に関する専門技術の支援を受けました。

最終版を作成する際の、PWS Publishing の人たちとの仕事は楽しいものでした。今回の出版に他の多くの方々も関与していることを知っていますが、直接に私に対応してくれた Michael Sugarmanm, David Dietz, Elise Kaiser, Monique Calello, Susan Garland, Tanja Brull に感謝します。編集担当の Jerry Moore, 表紙のデザイン担当の Diane Levy, そして装丁担当の Catherine Hawkes に感謝します。

全米科学財団からは、助成金 CCR-9503322 の支援を受けました。

父の Kenneth Sipser と妹の Laura Sipser は図を電子形式に変換してくれました。姉の Karen Fisch は、幾多の計算機の非常事態から私を助けてくれましたし、また、母の Justine Sipser は、母親らしい助言で励ましてくれました。皆、厳しい締切と反抗的とも思えるソフトウェアを相手にしていた苦しいときに、さまざまな形で私を助けてくれました。

最後に、私の愛を、妻の Ina と娘の Rachel に捧げます。この本の執筆中の皆の我慢に対して感謝します。

マサチューセッツ州、ケンブリッジ

1996 年 10 月

*Michael Sipser*