

日本語版への序文

私たちの本の日本語版への序文を書くことができることになり、とてもうれしく思います。近似アルゴリズムに関心を持つ日本の読者が、近似アルゴリズムのすばらしい研究成果を、この日本語版に基づいて、日本語で楽しみながら理解できるようになると思います。

私たちの本を翻訳された浅野孝夫教授に感謝します。彼は、私たちの本だけでなく、コーネル大学の同僚の Jon Kleinberg 教授と Éva Tardos 教授による “Algorithm Design” (『アルゴリズムデザイン』, 共立出版), ボン大学の Bernhard Korte 教授と Jens Vygen 教授による “Combinatorial Optimization” (『組合せ最適化』, 丸善出版) および私たちの本の前身とも言えるジョージア工科大学の Vijay Vazirani 教授による “Approximation Algorithms” (『近似アルゴリズム』, 丸善出版) も翻訳しています。彼の不断の努力により、日本の学生および研究者にとって、この研究分野のテキストが日本語でより容易に読めるようになったと思われまますので、アルゴリズムと組合せ最適化の分野で研究している私たちは、翻訳に膨大な時間を費やしてくれた彼に感謝します。さらに、私たちの本の日本語版を出版される共立出版にも感謝します。

組合せ最適化の研究において、日本の研究者はきわめて大きな貢献をしてきました。日本におけるこの分野の研究のさらなる進展に、私たちの本が貢献できればと思います。

David P. Williamson (デイビッド P. ウィリアムソン)

David B. Shmoys (デイビッド B. シュモイシュ)

2015年8月, イサカ, ニューヨーク州, アメリカ

訳者序文

本書は、近似アルゴリズムの最先端の研究者であるコーネル大学の David Williamson と David Shmoys の著書 “The Design of Approximation Algorithms” の全訳である。実用上生じる実際的な問題は複雑で、通常アルゴリズムでは高速に解くことが不可能なことが多い。したがって、高性能な近似解を高速に求める近似アルゴリズムが必要である。このような理由から、現在、近似アルゴリズムは、アルゴリズム研究の分野で最も活発に研究されているテーマである。原書は、アメリカの名門大学の情報系およびオペレーションズリサーチ系の大学院で、10 数年間にわたる近似アルゴリズムの講義から生まれた大学院生向けの本格的なテキストである。

2001 年に出版された V. Vazirani の “Approximation Algorithms” は、近似アルゴリズムの本格的なテキストとして多くの学生や研究者に愛読され、その後の近似アルゴリズム研究に大きく貢献した。一方、この分野の研究発展が著しいこともあり、改訂版の出版が期待されていたが、Vazirani はこの本の改訂版を出版しなかった。おそらく、Williamson と Shmoys の著書が出版予定であることを聞いていたと思われる。そして、最先端の研究でもっとも活躍しているこの二人に全面的にすべてを委任したと思われる。そのようなことで、原書は近似アルゴリズムの分野で研究する学生や研究者の待望の書である。

原書は近似アルゴリズムデザインの技法とアイデアを系統的に明快に解説している。第一部では、単純な問題を例にとり、これらの技法とアイデアを具体的にわかりやすく解説している。したがって、講義には最適であり、近似アルゴリズムの研究を概観できる。第二部では、これらの技法とアイデアを、より高度な問題に適用する際の工夫を具体的に解説している。したがって、読者は近似アルゴリズムデザインの技法とアイデアが系統的に吸収でき、この分野でこれから研究をして実社会で活躍する研究開発力も獲得できる。

系統的な解説を可能にしているのが、線形計画と整数計画である。しかし、これらは通常の情報科学系の講義では専門的に取り上げられることが少なかった。一方、欧米の大学では、本当に実用的なアルゴリズムの研究開発には、これらの分野が極めて重要であることが認識されてきている。したがって、情報科学系でもこれらを講義で取り上げる大学が増えてきていて、原書もそれに後押しされて執筆された。すなわち、これからのアルゴリズム教育には、線形計画と整数計画の概念の理解とそれを応用する能力の育成が必要不可欠になると思われるが、原書はそれらも自然に身につくように記述されている。

アルゴリズムのデザインと解析に関する名著は多い。その中の一つで 2005 年に出版

された Jon Kleinberg と Éva Tardos の “Algorithm Design” は、主として、多項式時間で解ける問題に対するデザイン技法を、ある意味で、学部学生を対象として、懇切丁寧に解説している。これに対して、Williamson と Shmoys の “The Design of Approximation Algorithms” は、“Algorithm Design” を学んできていることを期待して執筆された本であり、その意味では、大学院レベルのテキストであり、大学院生の研究思考形態にぴたりと合致する明快な解説が系統的に述べられている。そのようなことで、原書は、“Algorithm Design” に興味を持った読者が、次に読むべき本としてトップに挙げられる本である。実際、原書の裏表紙に記載されている近似アルゴリズム研究の 5 人の世界的権威による推薦文からもわかるが、5 人の推薦者は、原書が近似アルゴリズムの模範となる標準的なテキストとして使用されるであろうと述べている。

訳者は、大会委員長の東京大学教授の伊理正夫先生のもとで 1988 年に中央大学で開催された ISMP (International Symposium on Mathematical Programming) のときに、Shmoys 教授と Éva Tardos 教授を含む三人の外国の先生と東北大学教授の西関隆夫先生と訳者を含む三人の日本人 (計 6 名) で吉祥寺で会食する機会に恵まれ、Shmoys 教授と初めてお話をした。Shmoys 教授は、2014 年にニューヨークで開催された ACM の STOC (Symposium on Theory of Computing) のプログラム委員長を務めている。また、最大カット問題に対する半正定値計画に基づく斬新な近似アルゴリズムを提案して脚光を浴び Fulkerson 賞を受賞した Williamson 教授とは、1997 年にスイス連邦工科大学ローザンヌ校で開催された ISMP のときに声をかけられ、その後共同研究をして 2000 年の ACM-SIAM の SODA (Symposium on Discrete Algorithms) で共著の論文を発表することができた。そのようなことで、原書が出版された当時から、日本語版への翻訳を是非行いたいと考えていた。そして、共立出版の石井徹也氏にお願いして、本書を出版してもらえるようになった。

翻訳の作業は、原著者の伝えたいことを読者が正確に把握でき、日本語としても読みやすくなるようにと細心の注意を払いつつ実行した。翻訳に当たり多くの人から協力援助をいただいた。とくに、コーネル大学の David Williamson 教授には、国際会議で直接行った研究討論も含めて、訳者の度重なる質問に対して根気強く回答していただいた。また、近似アルゴリズムの最先端の研究動向の調査のために、文部科学省の科学研究費と中央大学の特定課題研究費からの助成に基づいて、国際会議に積極的に出席して第一線の研究者と研究討論および情報交換をさせていただいた。さらに、共立出版の石井徹也氏には、本書の原稿について、初期の段階から有益なご意見をいただくとともに、最終の完成まで辛抱強く待っていただいた。以上、心から感謝の意を表したい。最後に、日頃から支えてくれる妻 (浅野真知子) に感謝する。なお、最終的な翻訳に不適切な箇所があればすべて訳者の責任であり、読者からのご意見を歓迎したい。

最後に、近似アルゴリズムの分野に関わるすべての学生や研究者および現場の開発者に対して、本書が原書の近似アルゴリズムデザインを日本語で楽しく学ぶための有用な道具となることを願っている。

2015 年 8 月

浅野孝夫

序 文

本書は、近似アルゴリズムの大学院レベルのテキストとして執筆したものである。1990年代半ばに、この分野の短期集中講義を担当した経験に基づいて本書の概略を構成した。その後、著者の一人で当時IBMの研究員であったWilliamson (DPW) は、この概略に基づいて近似アルゴリズムの講義を繰り返し担当した。具体的には、1998年のコロンビア大学の応用工学・オペレーションズリサーチ学科での春学期、1998年のコーネル大学大学院の応用工学・オペレーションズリサーチ専攻での秋学期、および2000年のマサチューセッツ工科大学のコンピューターサイエンス研究所での春学期に、この概略に基づいて近似アルゴリズムの講義を行った。これらの講義を通して講義ノートが外部でも利用可能になり、受講した学生と他大学でこの分野を担当している教授からの好評を得て、執筆方針に確信を持つようになった。その後も、この分野ではきわめて興味深い進展があったので、それらの多くを本書に加えている。さらに、新しい成果を加えた原稿に対しても、コーネル大学大学院の応用工学・オペレーションズリサーチ専攻での2006年秋学期と2009年秋学期の講義でフィールドテストを実際に行ってきた。

これらの講義は、学部あるいは大学院でアルゴリズムの講義を修得済みで、アルゴリズムの正当性の数学的な証明に苦痛を感じない学生を対象として展開された。本書は、読者がこのレベルの準備がすでにできていることを仮定している。さらに、本書は、若干の確率の基本的な知識（たとえば、離散確率変数の期待値を計算する方法などの知識）も仮定している。最後に、NP-完全性についても多少の知識を持っていることを仮定している。少なくともNP-困難な離散最適化問題に対する近似解を高速に求めたい理由なども読者が十分知っていることを仮定している。このようなNP-困難問題に対して、近似解を求めることが困難であることを示すために、本書の複数箇所では実際にNP-完全性の証明のリダクションを与えている。そこで、これらの概念に不慣れな読者のために、クラスNPに属する問題とNP-完全性の概念についての短い解説を付録に与えている。もちろん、そのようなリダクションに不慣れな読者は、証明をスキップしても何ら問題のないことを注意しておく。

本書は、大学院の講義用テキストとしてだけでなく、近似アルゴリズムの分野において、最先端の研究動向の背景を理解するための書籍としても用いることができる。とくに、この分野の研究をこれから始めようとする博士課程の学生に、本書を手渡して“これを読んで研究してごらん”と言えることを念頭に置いて、本書を執筆した。

さらに、離散最適化問題のヒューリスティック解に主たる関心のある研究者に対して、近似アルゴリズムの分野の研究に対する文献として、本書が利用されることも期待している。そのような離散最適化問題は、施設配置問題やネットワーク設計などの伝統的なオペレーションズリサーチの問題のみならず、データベースやプログラミング言語設計の問題、ウイルスマーケティングでの効果的広告法などの多岐にわたる分野で、生じている。そのような問題へのアプローチとして、近似アルゴリズムの分野で開発され利用されている様々な技法を理解する手立てとして本書が活用されることを期待している。

本書を執筆するに当たり、特別の考慮をした点は以下のとおりである。第一に、近似アルゴリズムをデザイン（設計）する上でのある種の原理、すなわち、様々な最適化問題に広く適用されているデザイン技法のアイデアを中心に内容を構成している。本書の題名の“近似アルゴリズムデザイン”は、十分に注意を払い考慮して決定したものである。本書は、これらのデザイン技法が中核となって構成されている。第1章では、単一の問題の集合カバー問題に対してこれらのデザイン技法のいくつかを適用している。その後、本書は二つの部で構成されている。第一部では、すべての章がそれぞれ、たとえば、“グリーディアルゴリズムと局所探索アルゴリズム”、“データのラウンディングと動的計画”などのように、一つのアルゴリズムデザイン技法に焦点を当てて、その技法を様々な問題に適用する構成になっている。第二部では、第一部で取り上げたデザイン技法を再度取り上げている。そこでは、それらの技法をより工夫を凝らして適用している。とくに、これらの技法を適用してきわめて最近に得られた成果を取り上げている。このような構成により、本書を通して、中核となる最適化問題のいくつかは繰り返し取り上げられ、新しい技法で取り上げるときには、それらに対して前の結果より良い結果が得られることになる。とくに、そのような問題である、容量制約なし施設配置問題、賞金獲得シュタイナー木問題、ビンパッキング問題、最大カット問題を、本書を通してしばしば取り上げている。

第二に、線形整数計画を近似アルゴリズムデザインの中心的な側面として捉えて取り上げている。この視点は、著者がオペレーションズリサーチと数理計画の分野でも研究しているという背景に基づいている。コンピューターサイエンスの分野では、これはあまり見られないことであるので、コンピューターサイエンス出身の学生は、線形計画の基本的な用語についてあまりなじみがないものと思われる。そこで、冒頭の第1章で必要となるこの分野の用語を概観している。さらに、付録にも入門用の簡単な解説を与えている。

第三に、講義での説明用として十分に簡素であると同時に、トピックとしても中心的であるような成果のみを本書で取り上げている。すなわち、本書の結果の多くは、複数の大学の授業で実際に取り上げて講義したものである。なお、このルールは、本書では一度だけ無視されている。すなわち、一様最疎カット問題に対して、Arora, Rao, and Vazirani [22]により半正定値計画を適用して得られた、最新のきわめて興味深い成果を取り上げているときだけは、このルールが適用されていない。この成果の証明は、本書で最も長くて複雑なものとなっている。

執筆の各段階で本書に対して多数の人々からコメントをいただいたことに感謝する。とくに、本書の多数の節の内容に対してきわめて詳細なコメントをいただいた James Davis, Lisa Fleischer, Isaac Fung, Rajiv Gandhi, Igor Gorodezky, Nick Harvey, Anna Karlin, Vijay Kothari, Katherine Lai, Gwen Spencer および Anke van Zuylen に感謝する。さら

に、タイプミスの指摘、感想、特別な論文の理解の手助け、および有益なコメントをいただいた Bruno Abrahao, Hyung-Chan An, Matthew Andrews, Eliot Anshelevich, Sanjeev Arora, Ashwinkumar B.V., Moses Charikar, Chandra Chekuri, Joseph Cheriyan, Chao Ding, Dmitriy Drusvyatskiy, Michel Goemans, Sudipto Guha, Anupam Gupta, Sanjeev Khanna, Lap Chi Lau, Renato Paes Leme, Jan Karel Lenstra, Roman Rischke, Gennady Samorodnitsky, Daniel Schmand, Jiawei Qian, Yogeshwer Sharma, Viktor Simjanoski, Mohit Singh, Éva Tardos, Mike Todd, Di Wang および Ann Williamson に感謝する。有用なコメントをいただいた複数の匿名の査読者にも感謝する。また、自身の近似アルゴリズムの講義で本書のドラフトを利用してくれた Eliot Anshelevich, Joseph Cheriyan, Lisa Fleischer, Michel Goemans, Nicole Immorlica および Anna Karlin からは、本書を利用した経験に基づく有用なコメントをいただいた。とくに、Anna の講義に出席した学生の Benjamin Birnbaum, Punyashloka Biswal, Elisa Celis, Jessica Chang, Mathias Hallman, Alyssa Joy Harding, Trinh Huynh, Alex Jaffe, Karthik Mohan, Katherine Moore, Cam Thach Nguyen, Richard Pang, Adrian Sampson, William Austin Webb および Kevin Zatloukal からは有用なコメントをいただいた。Frans Schalekamp は、本書の表紙の原案を作成してくれた。それは、8.5 節で議論している Fakcharoenphol, Rao, and Talwar [106] の木メトリックのアルゴリズムの説明図である。Cambridge University Press の編集者 Lauren Cowles には、本書の完成を辛抱強く待ってくれたことと多くの有用な助言をいただいたことに深く感謝する。

本書の執筆を通して、サポートしてくれた関係諸機関にも感謝する。とくに、本務先のコーネル大学、IBM の T. J. Watson and Almaden Research Centers (DPW) および本書の最終の校正時にサバティカルでお世話になった TU Berlin (DPW), the Sloan School of Management at MIT および the Microsoft New England Research Center (DBS) に感謝する。近似アルゴリズムの研究をサポートしてくれた National Science Foundation にも感謝する。

本書に関する（連絡先や誤りなどの）その他のことに関しては、ウェブページの www.designofapproxalgs.com に掲載しておく。

本書の執筆に従事した期間ずっと忍耐と援助を示し続けてくれた著者らそれぞれの妻と子供にも感謝する。DPW は Ann, Abigail, Daniel および Ruth に、DBS は Éva, Rebecca および Amy に感謝する。

最後に、近似アルゴリズム分野の研究における著者らの情熱と感動が本書を通して読者にうまく伝わることを心から願っている。そして、読者も近似アルゴリズムの研究を堪能することを祈念している。

David P. Williamson (デイビッド P. ウィリアムソン)

David B. Shmoys (デイビッド B. シュモイシュ)

2011 年 1 月