

監訳者序文

現代人の快適で安全・安心な生活、効率の良い仕事のために、AI（人工知能）が大きな貢献をしている。消費者の行動の予測、株式市場の予測、スパムメールの検出、医療診断、自動運転など、AIが活躍する場合は、いくつでも挙げることができる。本書は、AIを用いた意思決定技術に関する実践的指南の書である。前半で理論を解説し、後半で応用例を紹介する。本書で取り上げられている応用例は、監視カメラの映像から有効な情報を取り出すこと、音声や話者を識別すること、航空機の衝突を防ぐこと、ドローンなどの無人航空機によって継続的に情報を得ることなどである。いずれも現実に役立っている具体的なシステムを紹介しており、読者の興味を掻き立てるだろう。また、これらの具体事例を学ぶことによって、読者のまわりにある他の実践的な課題にAIを適用しようという意欲も呼び起こされるだろう。

囲碁において、すでにAIが人類で最も強い名人を圧倒していることが知られているが、この成功は、枠組み（フレーム）が限定されている場面においてコンピュータが高速な計算力を発揮した結果である。しかし、本書が扱う応用例は、問題の複雑さゆえフレームを限定できない、現実世界の不確定な状況における意思決定を扱っている。

現実にかかる現象には、不確定な要因が必ず関与する。将来何が起こるのかわからないし、どのような観測値が得られるのかもわからない。厳密に言えば、その枠組みですら、あらかじめ決めておくことはできない。まして、どの仮説が真であるかどうかはわからない。頭の中での信念においても、どのような仮説ないしモデルが真であるかをあらかじめ確定することは、合理的であるとは言えない。本書は、このような不確定な世界における意思決定問題に対処するための知識や技法を説明することを目的とする。

vi 監訳者序文

本書のタイトルは「不確定性下の意思決定」であり、名は体を表して、本書の主題は不確定要因が関わる意思決定問題である。不確定性をどのように数量化し、不確定要因が関わる意思決定を可能にするシステムをいかに実装するかという問題は、人と関わって実世界で動作するすべての AI システムにおいて重要な問題である。近年の AI に関する技術書の多くが、決定論的計算モデルであるディープラーニングに関するものであり、不確定性を扱うために重要な役割を果たす確率論的計算モデルに関する書籍は少数である。しかし、AI 技術を現実世界の中で実装するフェーズが進むにつれ、不確定性を扱う AI 技術がますます重要になることは間違いない。

本書は MIT (マサチューセッツ工科大学) において、やる気のある大学院生や学部生に、不確定性を扱う AI システムを具体的かつ実際に機能するものとして構築させることを目的として行われた講義に基づいている。この背景を持つ本書は、すでに現場で活躍しているエンジニアや研究者にも有益な知識源となる。

本書は第 I 部と第 II 部に分けられている。第 I 部で理論的な基礎を固め、第 II 部で興味深い実践的な応用例について学ぶ。理論的な説明は簡明であるが、不確定性を扱うための基礎となる概念や考え方、確率モデルはきちんと解説されている。数学的な証明は省略されている一方で、実際にシステムを構築するためのアルゴリズムや確率モデルが紹介されている。第 I 部と第 II 部は有機的に関連しており、読者は第 I 部での知識をもとに、第 II 部の応用例を理解することができる。もし読者が自分の課題を持っているなら、これらを通じて課題に挑戦する力が養われているはずである。

本書の読み方としては、まず第 1 章を読んで本書全体を俯瞰していただいた上で、第 I 部は通して読むことが望ましいが、第 II 部は興味のある章から読んでもよい。ただし、第 10, 11, 12 章については、以下を参考にされたい。第 10 章は、航空管制のための実システムに関する確率モデルの本格的な応用例である。また、第 12 章は、航空管制の運用場面における人と AI の協調の仕組みに関する実践的な解説である。これらに対して、第 11 章は最近普及が進む、ドローンによるサーベイランスシステムにおけるマルチエージェント型の AI 応用の解説である。そのため、航空管制における応用や人と AI の協調という観

点からは、第11章を挟まず、第10章、第12章を続けて読むとよいだろう。なお、原著の主著者、第10章の訳者とともに、航空機免許を持つ現役のパイロットでもある。

本書の翻訳は、AIにおいて、先端的な研究やシステム開発をしている研究者・実践者によってなされた。原文の英語に過度にこだわらず、日本語として自然でわかりやすい表現を心掛けたところである。本書全体での表現の統一にも努力した。例えば、“uncertainty”, “Bayes’ Rule”, “Gaussian Distribution”は、それぞれ「不確定性」「ベイズの定理」「ガウス分布」とした。それぞれ、同じくらいの頻度で「不確実性」「ベイズ則」「正規分布」という訳語が使われるが、より本書の性格に適合している訳語を選んだつもりである。比較的短期間で邦訳版が完成したのは、訳者らの力量のおかげである。この場を借りて、翻訳、編集にあたった方々に感謝の意を表する。

2020年5月

繁榎算男
本村陽一

序 文

本書は、計算論的観点から書かれた、不確定な状況における意思決定への入門書である。本書の前半は、確率理論と意思決定理論の基礎を学習することを目的とする。本書の後半は、この理論を、種々の具体的な目的に応用する方法について説明する。不確定状況における意思決定という課題は広範にわたっており、いくつかの異なる領域から発生している。本書はできるだけ簡潔な記述を心掛けたため、多様な応用例に役に立つ参考文献を各章末で挙げた。本書を補う有効な情報として参照されたい。

本書が想定する読者は、工学系の学部上級生や大学院生であり、加えて専門家も対象となる。特に本書の内容が役に立つのは、コンピュータサイエンス、航空宇宙工学、電気工学、オペレーションズリサーチなどの領域である。本書の狙いは理論と実践への入門にあるため、アルゴリズムを紹介する一方で、数学的な証明は省略されている。本書を読むには若干の数学的素養が必要であり、確率理論と微積分についてある程度の知識があることを前提としている。最初の五つの章は、学部、大学院の授業で基本を教えるために使える。第6章と第7章で扱う題材は、大学院生により適しているかもしれない。

本書は、マサチューセッツ工科大学 (MIT) のリンカーン研究所で、2年間にわたり不確定状況における意思決定について講義をした際に書かれたものである。本書の内容の多くは、この授業のために準備された。一連の授業の後半では、リンカーンセンターやMITの研究者を招き、授業で教えられた基本原理や基本技術がどのように国家的な課題の解決のために使われているかを講義してもらった。この後半の講義のいくつかは、本書の第II部で取り上げられている。

February 6, 2015

MYKEL J. KOCHENDERFER

謝 辞

本書の準備をするために、Jim Ward と Dave Martinez から、惜しみない多大な助力をいただいた。最終原稿の完成には、Dorothy Ryan の注意深い編集が欠かせなかった。

本書の執筆・編集を進めたこの2年間、Jonathan Christensen, James Chrysanthacopoulos, Louis Dressel, Ann Drumm, Ryan Gardner, Lucas Hansen, Jeremy Kepner, Youngjun Kim, Mary Anne Kochenderfer, Jim Kuchar, Robert Moss, Wes Olson, Carl Quillen, Dorothy Ryan, Josh Silbermann, Tan Trinh, Michael Watson, Chulhee Yun をはじめとする同僚や友人から、本書の内容に関するコメントや提案をいただいた。

第7章は、Shlomo Zilberstein および Matthijs Spaan とともに作成した授業用教材を発展させたものである。第8章は研究・技術担当国防次官補の支援を受けた研究を解説している。また、第10章で解説する研究は Neal Suchy の指示のもとで米国連邦航空局 (FAA) の支援を、第11章の研究はボーイングリサーチ&テクノロジーの支援を受けている。

なお、本書に含まれる見解および結論は著者のものであり、米国政府が明示的あるいは暗示的に保証もしくは承認したものではないことを付言しておく。