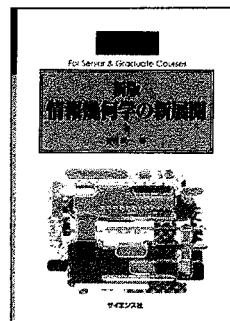


新版 情報幾何学の新展開

甘利俊一著, B5判, 240頁, 本体2600円, サイエンス社



情報幾何学とは、確率分布がなす空間を微分幾何学の道具を使って調べる学問である。情報をもつ幾何的な構造を表現するために創られており、情報学で用いる様々なモデルが情報幾何学のことばで記述できる。本書は、情報幾何学の創始者であり、いまだ現役の研究者として情報幾何学の先頭を走り続ける、甘利俊一氏自らによって書き下ろされた書籍である。新版の出版にあたって、深層学習と Wasserstein 幾何に関する最近の進展を含む 2 章が新たに書き下ろされている。著者自らが「微分幾何に無用に深入りすることなく、その本質を直接的に紹介する」と述べるように、情報幾何学に入門しさまざまな応用分野を広く俯瞰することができる構成となっている。さらに、専門家にも読み応えのある豊富な内容が盛り込まれており、決定版といえる内容である。

双対平坦な空間は、情報幾何学のハイライトともいえる概念である。この空間を理解し構築するための内容が第 2 章と第 3 章で導入される。双対平坦な空間は、凸関数とそのルジャンドル変換から生成される多様体であり、指数型分布族との美しい対応により統計的な解釈ができる。この空間は、 θ 座標と η 座標という 2 つの座標系を持ち、それらは必ず直交するという特徴をもつ。指数型分布族において、 θ 座標は自然パラメータ、 η 座標は期待値に一致し、多様体の変換不変な計量が Fisher 情報量となるため、指数型分布族が持つ幾何的な構造の解析やその不変量の取り出しが可能となる。本書では、これらの概念が構成的に導入されているため、特に情報学や工学を専門とする読者にとって読み進めやすい内容となっている。ところどころ証明や式展開が省かれているので、数学的に厳密な議論を求める読者には少し物足りないかもしれないが、適切な文献へのポイントが適宜示されており、特に困ることはないだろう。

第 9 章では、階層的な構造を持つモデルに対する双対平坦な空間が紹介される。モデルの階層構造は、ボルツマンマシンに代表されるように、確率変数間の相互作用を考慮することで自然に現れる構造である。そ

こでこの章では、対数線形モデルを用いることで、階層構造を取り込んだ双対平坦多様体を構成している。さらに、その多様体における θ 座標と η 座標を用いた混合座標系と直交葉層化が紹介される。これらは応用において極めて重要な概念であり、多くの機械学習や最適化の問題が混合座標系で指定される確率分布への射影として実現されるのであるが、他の分野ではあまり馴染みのない考え方のように思う。本書は、この特徴的な概念を構成的に分かりやすく解説することに成功しており、貴重な文献といえるだろう。

第 15 章では深層学習の最近の発展と情報幾何学との関わりが、第 16 章では Wasserstein 距離との関わりが、新版で新たに書き下ろされた。深層学習の発展を契機として、任意のランダム解のすぐ近くに最適解があったり、モデルのパラメータ数をどんどん増やすと一度増加した汎化誤差が再び減少する double descent という現象が観察されたりするなど、従来の学習理論で説明することが難しい現象が起こっている。これらの最新の結果に対して情報幾何学を使った説明を試みており、著者の熱意を肌で感じることができる。Wasserstein 距離は、確率分布間の異なり具合を最適輸送という観点から測るものであり、情報幾何とは異なる幾何を導入する。近年は、エントロピー正則化による効率的な計算手法の確立を契機として、画像処理や機械学習への応用が進んでおり、著者も情報幾何学との関連について精力的に論文を発表している。本書では、それら最新の成果の一端に触れることができる。

ちょうどこの原稿を書いている 2020 年 3 月中旬は、本来であれば情報幾何学の国際ワークショップが日本で予定されており、著者の甘利氏をはじめ、世界中から情報幾何学の研究者が来日し講演をおこなう予定で、筆者も参加予定であった。残念ながら昨今の状況から開催はかなわなかったのだが、それでも情報幾何学の世界的な盛り上がりを感じている。ぜひ本書を手に取り、情報幾何学の世界へ入門されてはいかがだろうか。

杉山 磨人 (国立情報学研究所)