

# 書評

## 湊 真一 編, ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト 著: 超高速グラフ列挙アルゴリズム 〈フカシギの数え方〉が拓く, 組合せ問題への新アプローチ, pp. 192, 森北出版 (2015)

本書は, グラフ列挙問題における組合せ爆発を解決するためのアルゴリズム ZDD (zero-suppressed binary decision diagram) の理論と応用について解説するとともに, そのデータ構造を用いた超高速なグラフ列挙アルゴリズムの研究開発に取り組んできた ERATO 湊離散構造処理系プロジェクトの成果について書かれている。

列挙問題とは, 与えられた条件を満たす解をすべて求める問題である。  $n \times n$  の格子グラフの対角 2 頂点間の経路を求める経路列挙問題は, 日本科学未来館が YouTube 上で公開した動画『「フカシギの数え方」おねえさんといっしょ! みんなで数えてみよう!』<sup>\*1</sup> のヒットで「おねえさんの問題」として一般にも広く知られるようになったが, これもプロジェクトの成果である。

第 1 章は, この「おねえさんの問題」の説明から始まる。最短経路だけでなく遠回りも許すことから, 格子グラフのサイズの増大につれて経路数も膨大になり, さらに簡単な解法が見つからないために, すべての経路を数え上げるしかないが, 動画のように素直にバックトラック法などを使うと組合せ爆発を起こすことを具体例を示して説明しており, 効率的な列挙アルゴリズムの必要性がよくわかる。なお, 組合せ爆発を解決できなかったおねえさんがどのような運命をたどったかは, ぜひ動画で確認していただきたい。

第 2 章では, 本書を理解するために必要なグラフ理論と列挙問題について解説している。ただし, 頂点, 辺, 経路, 閉路などの基本的な用語と, 木, 非巡回有向グラフ, 完全グラフ, 格子グラフなどの代表的なグラフ構造のような本書の理解に必要な最小限の知識を説明しているだけなので, 難しく考える必要はない。

第 3 章では, グラフ列挙問題の組合せ爆発を解決するためのデータ構造である ZDD の基礎概念と, 作成方法, 列挙, 索引化について説明している。ZDD は, 湊 真一教授が考案したデータ構造であり, チューリング賞を受賞した偉大なる計算機科学者であるとともに, 人工知能学会の論文執筆にも用いられる TEX と METAFONT の開発者でもある Donald E. Knuth の「The Art of Computer Programming」にも取り上げられた著名なアルゴリズムである。ZDD では組合せ集合に無関係な接点削除されることから, 例えばスーパーマーケットの顧客と購入した商品の組合せのような, 現実によく見られる粗な組合せ集合の圧縮効果が高く, 個数の数え上げ

や  $k$  番目の組合せの取出しなどの操作が効率的に行えるデータ構造であるなどの利点が紹介されている。

第 2 部である第 4 ~ 8 章では, パズル, 電力網解析, 鉄道経路探索, 展開図, 選挙区割り, 避難所割当て, 住宅フロアプラン, しりとりなどのさまざまな問題にどのように適用するかについて解説している。これらの問題を処理するために第 4 章で紹介される強力なツールが Graphillion である。Graphillion は Python 上で大規模グラフ集合を効率的に扱うことができるライブラリであり, グラフ列挙問題を効率的に解くことができる。これを使えば「おねえさんの問題」が簡単に短時間で解けることを示した動画「Graphillion: 数え上げおねえさんを救え」<sup>\*2</sup> も公開されている。ここを読めば, さまざまなグラフ列挙問題の解決の糸口が得られるだろう。

第 3 部では, さらに発展的な話題が取り上げられている。例えば, 第 9 章では 2013 年に「おねえさんの問題」を  $n = 26$  まで計算して世界記録を達成したが, このときにどのような手法を用いたかが丁寧に解説されている。第 10 章では, ZDD の元になった BDD (binary decision diagram) と ZDD を比較しながら, 詳しく解説している。第 11 章では, ZDD は膨大な組合せを圧縮・分類・索引付けしたデータ構造として頻出パターンマイニングに応用したり, Sequence BDD や  $\pi$ DD などの新しいデータ構造を紹介している。

本書は, ERATO 湊離散構造処理系プロジェクトの成果の集大成であるが, 難解な専門書ではなく, ある程度プログラミングを理解している読者なら楽しく読め, 実際に役にも立つ一般書籍として書かれている。例えば, 計算アルゴリズムを学ぶ学生なら BDD や ZDD について学びながら自分の研究テーマを発見できるかもしれないし, ソフトウェア開発者なら業務で実際に直面するグラフ列挙問題を効率的に解く方法が見つかるかもしれない。後者なら第 1 部と第 2 部を読むだけでも十分だ。なお, 本文で説明に用いた Graphillion のマニュアルが付録 A に, Ruby プログラマ向けの ZDD ライブラリの Ruby 版 VSOP のマニュアルが付録 B に収録されている。

最後に, 筆者の野望は Graphillion を使って, 趣味の大阪の居酒屋の飲み歩き順路問題を解くことだ。2 店間の最短経路問題を解くプログラムはすでに作成済みなので, 本書を熟読すれば野望の達成は近い?

〔風間 一洋 (和歌山大学)〕

\*1 <https://www.youtube.com/watch?v=Q4gTV4r0zRs>

\*2 <https://www.youtube.com/watch?v=R3Hp9k876Kk>