T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	グラフは難だが役に立つ
Title(English)	Graph is Difficult But Useful
著者(和文)	高橋篤司
Authors(English)	Atsushi Takahashi
出典(和文)	電子情報通信学会 2017年総合大会 講演論文集 (AS-1-4), Vol. A, No. , pp. S6-S7
Citation(English)	Proc. the 2017 IEICE General Conference (AS-1-4), Vol. A, No. , pp. S6-S7
発行日 / Pub. date	2017, 3
URL	http://www.ieice.org/jpn/books/t_g.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は電子情報通信学会に帰属します。 Copyright (c) 2017 Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

グラフは難だが役に立つ

Graph is Difficult But Useful

高橋篤司
Atsushi Takahashi

東京工業大学 工学院 情報通信系
Department of Information and Communications Engineering
School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

1 はじめに

まだまだ駆け出しの世間知らずの若手研究者のつもりが，いつしか 30 年前のことを，自身の経験として語ることができるようになってしまった．私がグラフと出会い本格的に学び始めたのは，回路とシステム (CAS) 研究会を母体として，VLSI 設計技術 (VLD) 研究会が生まれた 1987 年より後の 1988 年，東工大 4 年で研究室所属してからである．当時，グラフを道具として利用する電子情報通信分野の応用として，集積回路の設計自動化が良い研究対象であった．私自身はグラフを難しいと思いつつも楽しんできた．しかし，向き不向きもあるので，グラフ理論は難しくて逃げたい，と思っている学生も少なくないかもしれない．

このたび「電子情報通信分野におけるグラフ理論の教育」に関するシンポジウムが開催されるとのことで，この機会に，少しは皆様のお役に立てることもあるかと思い，私が関わってきたグラフに関連する教育と研究について紹介する．

2 グラフ

ここでグラフ [1, 2, 3] の定義を記す必要はないとは思うが，無限集合を点集合とする無限グラフや，多項関係を表現するハイパーグラフなど，若干異なる定義が用いられることもあるので，あえて記すこととする．

グラフ G は，点からなる点集合 V と辺からなる辺集合 E からなる二つ組 $G = (V, E)$ である．点集合 V は有限集合とし，辺集合 E は V 上の 2 項関係 ($\subset V \times V$) に対応するとする．点や辺にはそれぞれ重みが割り当てられることがある．辺は 2 項関係に対応するので，辺の両端点の順序は重要であり，辺が向きを持つ有向グラフが基本である．ただ，対称律が成り立つ 2 項関係を扱うことも多いので，辺が向きを持たない無向グラフとして考えることも多い．さらに，多重辺や反射律に対応する自己ループを持たない単純グラフを，単にグラフとして扱うことも多い．

3 グラフと私の関わり

グラフについての教育について考えてみると，私自身は，東工大の学部講義でグラフを学んだ覚えはない．概念や考え方は暗黙のうちに含まれていたとは思うが，当時はあまり意識していなかったし，そのようなカリキュラムではなかったと思う．その後，東工大では，学科の再編や教育改革などに伴いカリキュラムが更新され，私が教員となってから担当した東工大の電気・電子工学科集積システムコース，情報工学科，情報通信系では，学部講義でグラフやアルゴリズムの基礎を教えている．

私自身がグラフを意識したのは，学部 4 年で研究室に所属する頃である．当時，深く考えたわけではないが，数式をたくさん使う難しそうな数学にはついていけそうもない，それよりは組合せ数学のようなものが簡単そうだ，と思う打算もあった．梶谷洋司先生，上野修一先生の学部講義は受けたことはなかったが，回路理論ではなく，より抽象的なグラフ理論が性に合っていそうで梶谷・上野研究室を選んだように思う．

私自身がグラフ理論について学んだのは，研究室での本読み輪講や研究室のゼミを通してである．本読み輪講では最初に “Graphs & Digraphs” [2] を英語に戸惑いながら読み進んだと記憶している．先生や先輩にはいろいろと教えられた．

卒論では，主に梶谷先生に指導いただきながら，配線問題について取り組んだ．卒論の内容は，回路とシステム軽井沢ワークショップ (KWS) で口頭発表 [4] し，信学会の英文論文誌に掲載 [5] された．これが私が学会というものを知った最初であった．

修士に進学してからも，引き続き配線問題について取り組んでいたが，その頃グラフマイナーに関する問題を知った．その後，主に上野先生に指導いただきながら，グラフマイナーについて取り組んだ．幸い研究成果が得られたので，博士課程からは逃げたが助手になり，成果を雑誌論文として掲載 [6, 7, 8, 9, 10] しつつ，博士論文 [11] にまとめることができた．電子情報通信分野の研究室であるので，一応，応用は意識していたが，実際にはおまけ程度で，興味の趣くままに楽しんでいた感がある．

4 グラフと学会

グラフ理論は，CAS 研究会が設立された当初から現在に至るまで，CAS 研究会が取り扱う主要な研究分野の一つであったとのことである．信学会においても，様々な研究会で陰に陽に扱われている．

IEEE CAS Society でも，グラフ理論は，長い間，主要な研究分野の一つであった．しかし，IEEE CAS Society では，最近，研究分野名にグラフが直接は登場しない．もちろんグラフに関する研究が必要なくなったわけではない．最近の傾向として，基礎的な分野でも，応用との関わりがより強く意識されるようになり，応用に特化した形で研究分野が整理されるため，グラフが研究分野名に登場しなくなったのかと思う．

Copyright © 2017 IEICE

最近になって基礎的な分野の重要性が強調されることも多くなっており，全体的傾向として，研究の応用指向の行き過ぎが是正される時期なのではないかと思う．そういった意味で，様々な応用の基礎となるグラフ理論を主要な研究分野として，様々な分野の研究者が交流できる場を提供することは非常に有用であると考えている．

5 グラフと東工大電気情報の教育

東工大電気情報の学部では，1 年後期に「情報基礎数学」[12] を教科書として使い，集合，写像，関数の基本からグラフ入門くらいまでを教える．その後，3 年前期に演習付の講義「離散構造とアルゴリズム」で,「情報とアルゴリズム」[3] を教科書として使い，グラフ，組合せ問題，アルゴリズム，計算量理論の基礎を教えていた．教育改革後も，情報通信系では,「離散構造とアルゴリズム」の開講時期が 2 年後期となったが，引き続きそれら講義を開講する．

「離散構造とアルゴリズム」では，グラフとは何かを確認する意味も込めて，講義の最初に「離散」と「連続」の違いは何かを，学生に尋ねることにしている．学生には「整数」と「実数」,「可算無限」と「非可算無限」,「デジタル」と「アナログ」などの対比を紹介する．そして，電圧や電流はアナログであるが，現在の計算機はそれらをうまく使いながらデジタル動作を実現すると説明する．とは言っても，電子の電荷が最小単位だとすると，電圧は整数という気もするし，不確定性の原理からやはり実数かもしれない，と分かったようで分からないまま，紹介している感もある．いずれにせよ，整数も大きくなると，実数的なふるまいも目立つようである．

6 グラフと研究

研究室の本読み輪講では，英語の勉強も兼ね研究にも役立つようにと，計算複雑度理論のバイブル [13] を読んだこともあった．最近は専ら “Graph Theory with Applications”[1] を読んでいる．グラフの様々な性質が，定理として証明付で本文中にあったり，演習問題として残されていたりで，内容を理解しながら読み進むのには苦戦している．英語力の問題もある．グラフの細かい性質などどこで役立つか分からないので，興味が湧かないのかもしれない．興味を持っても証明などは，論理展開に慣れも必要である．科学的な文章では，論理展開に必要な条件はしっかりと与えられ，不要な条件や冗長な形容詞など文中にない，行間を読ませてはいけない，ということを実感してもらいたい，と思っている．

グラフのよい応用であった設計自動化の分野では，設計方法論は次々と刷新され，今日の常識は明日の非常識といった世界であり，今でも新しい研究課題が次々と生まれている．遺伝子解析や IoT などの分野で，ビックデータ解析など大規模なグラフの特徴に迫ることがより求められるなど，グラフ理論においても，時代とともに興味の対象が変わっている．

グラフの性質は次々に解き明かされており，様々な道具が次々に生まれている．多くの道具を持ち，その使い方を知っていれば，より適切な道具を選択でき，はまれば強い．ただ，すべてを網羅することは不可能であり，一生使わない道具も多く効率は悪い．使える道具を選んで学んで欲しいが，何が使える道具になるか，事前には分からないのが悩ましいところである．

卒論や修論では，問題を解決する良い方法に，本能的にたどり着く優秀な学生な学生は多い．ただ，なぜその方法が良いのか，その良さ分析して説明できる学生は少ない．グラフ理論を学び，これまで解き明かされたグラフの性質や道具を知ることは，直接的には研究に役立たないかもしれない．ただその性質を解き明かすに至るまでの過程や考え方を学ぶことも，研究に役立つ．

7 おわりに

グラフを学んだ直後ではなくとも，いつの日か「グラフはなんだか役に立つ」と実感できる人が少しでも増えるよう，これからも微力ながら努力していきたいと思う．

参考文献

[1] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, Graph Theory with Applications, North-Holland, Amsterdam, 1976.

[2] G. Chartrand and L. Lesniak, Graphs & Digraphs, second edition, Wadsworth & Brooks, Monterey, 1986.

[3] 上野修一，高橋篤司，情報とアルゴリズム，森北出版，2005.

[4] A. Takahashi and Y. Kajitani, “A switch-box router ’BOX-PEELER’ and its tractable problem,” Proc. 2nd Karuizawa Workshop on Circuits and Systems (KWS), pp.374–381, 1989.

[5] A. Takahashi and Y. Kajitani, “A switch-box router ’BOX-PEELER’ and its tractable problems,” The Trans. of the IEICE, vol.E72, no.12, pp.1367–1373, 1989.

[6] A. Takahashi, S. Ueno, and Y. Kajitani, “Minimal acyclic forbidden minors for the family of graphs with bounded path-width,” Discrete Mathematics, vol.127, pp.293–304, 1994.

[7] A. Takahashi, S. Ueno, and Y. Kajitani, “On the proper-path-decomposition of trees,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E78-A, no.1, pp.131–136, 1995.

[8] A. Takahashi, S. Ueno, and Y. Kajitani, “Mixed-searching and proper-path-width,” Theoretical Computer Science, vol.137, no.2, pp.253–268, 1995.

[9] A. Takahashi, S. Ueno, and Y. Kajitani, “Universal graphs for graphs with bounded path-width,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E78-A, no.4, pp.458–462, 1995.

[10] A. Takahashi, S. Ueno, and Y. Kajitani, “Minimal forbidden minors for the family of graphs with proper-path-width at most two,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E78-A, no.12, pp.1828–1839, 1995.

[11] A. Takahashi, “The path-width of graphs and its applications,” PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, 1996.

[12] 佐藤泰介，高橋篤司，伊東利哉，上野修一，情報基礎数学，オーム社，2014.

[13] M.R. Garey and D.S. Johnson, Computers and Intractability, A Guide to the Theory of NP-Completeness, Freeman and Co., New York, 1979.

Copyright © 2017 IEICE