

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Community Detection in Networks: Models and Algorithms
著者(和文)	宮内敦史
Author(English)	Atsushi Miyauchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10558号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松井 知己,大和 毅彦,塩浦 昭義,水野 眞治,中田 和秀
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10558号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		宮内 敦史	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	松井 知己	教授	審査員	中田 和秀	准教授	
	審査員	大和 毅彦	教授				
		塩浦 昭義	准教授				
		水野 眞治	教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は，“Community Detection in Networks: Models and Algorithms”と題し，ネットワーク上のコミュニティ検出に関して，最適化理論の観点から研究を行っている．論文は，全 10 章からなり，第 1 章，第Ⅰ部：大域的コミュニティ検出（第 2 章から第 6 章），第Ⅱ部：局所的コミュニティ検出（第 7 章から第 9 章），第Ⅲ部：結論と今後の方向性（第 10 章）で構成されている．

第 1 章では，序論が述べられている．はじめに，ネットワーク解析におけるコミュニティ検出の位置づけが明確にされている．そして，本論文が最適化理論の観点からコミュニティ検出にアプローチすること，及び，優れた最適化モデルと優れたアルゴリズムの構築を目的とすることが述べられている．その後，既存のモデルと既存のアルゴリズムの詳細なサーベイが記されている．最後に，本論文の貢献が簡潔にまとめられている．

第 2 章では，大域的コミュニティ検出に対する標準的な評価関数であるモジュラリティの問題点を指摘し，それを克服する新たな評価関数 Z -モジュラリティが導入されている．理論的解析により， Z -モジュラリティは，モジュラリティの欠点である解像度限界を改善していることが示されている．また，実験的解析により， Z -モジュラリティ最大化問題に対する簡単な発見的解法が，コミュニティ構造を高精度に検出することが報告されている．

第 3 章では，モジュラリティ最大化に対する精度保証付き近似解法が設計されている．主結果は，モジュラリティ最大化問題に対する加法的近似解法の設計である．提案解法がもつ理論的な精度保証は，現在最良の精度保証を改善している．提案解法の設計には，半正定値計画緩和とランダム超平面丸めが巧妙に利用されている．

第 4 章では，モジュラリティ最大化問題の最適値の上界値を効率的に計算する手法が設計されている．より具体的には，モジュラリティ最大化問題の整数計画問題としての定式化を線形緩和し，その最適値を効率的に計算する手法が設計されている．提案解法の一つは，はじめに非常に小規模な部分問題を解き，必要な変数と制約式を後から逐次的に加えていくという戦略を採用している．実験的解析により，提案解法は，5000 頂点程度のネットワークに対しても，所望の上界値を計算できることが報告されている．

第 5 章では，大域的コミュニティ検出に対する非常に一般的なモデルであるクリーク分割問題に対して，整数線形計画法にもとづいた厳密解法が設計されている．提案解法は，単純な定式化に比べて非常に小規模な整数線形計画問題を解くことで，元問題の最適解を得ることができる．実験的解析に

より、提案解法は、2500 頂点程度のネットワークに対しても、最適解を得られることが報告されている。

第 6 章では、二部モジュラリティ最大化問題の計算複雑度が解析され、その NP 困難性が示されている。これまでにモジュラリティ最大化問題の NP 困難性は知られていたが、二部モジュラリティ最大化問題の計算複雑度は明らかにされておらず、その解析が望まれていた。本章は、これに対し解答を与える結果となっている。

第 7 章では、局所的コミュニティ検出に対する新たな評価関数であるコミュニティチュードが導入されている。局所的コミュニティ検出に対しては、これまでに様々な評価関数が提案されてきたものの、標準的な評価関数は存在しなかった。コミュニティチュードは、第 2 章で提案された Z-モジュラリティの局所的コミュニティ検出版と捉えることができる。実験的解析により、コミュニティチュード最大化問題に対する線形時間の発見的解法が、コミュニティ構造を高精度に検出することが報告されている。

第 8 章では、局所的コミュニティ検出の特殊ケースである密グラフ抽出が扱われている。密グラフ抽出に対しては、標準的なモデルとして、最密部分グラフ問題が知られている。しかしながら、最密部分グラフ問題では、出力解のサイズが大きすぎたり小さすぎたりするという、サイズの問題がしばしば起こることが指摘されていた。そこで、その問題を克服するため、最密部分グラフ問題を拡張したモデルが導入され、それに対する解法が設計されている。いずれの提案解法も理論的な精度保証をもつことが示されている。

第 9 章では、現実の応用例として、企業などのマーケティング戦略の立案に現れる広告予算配分が扱われている。密グラフ抽出の既存のモデルを拡張することで、広告予算配分に対する新たなモデルが導入されている。また、密グラフ抽出の既存のアルゴリズムを拡張することで、提案モデルに対する効率的な解法が設計されている。理論的解析により、提案解法のいくつかは、理論的な精度保証をもつことが示されている。実験的解析により、提案解法がベースライン解法よりも実験的にも優れていることが報告されている。

第 10 章では、結論と今後の方向性が述べられている。結論では、本論文が分野にもたらす貢献が述べられ、各章の内容が簡潔にまとめられている。また、今後の方向性では、各章から見える今後の課題が述べられている。

以上を要するに、本論文は、ネットワーク上のコミュニティ検出に関して最適化理論の観点から研究を行い、優れたモデルと優れたアルゴリズムの設計を行っており、社会工学に貢献すること大である。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。