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

題目(和文)	
Title(English)	Vulnerability of Transportation Networks to Cascading Failure
著者(和文)	杉下佳辰
Author(English)	Kashin Sugishita
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11168号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:朝倉 康夫,屋井 鉄雄,室町 泰徳,福田 大輔,花岡 伸也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11168号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	土木・環境工学 系 土木工学 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	杉下 佳辰	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	朝倉 康夫
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文“Vulnerability of Transportation Networks to Cascading Failure”は，以下の全 6 章で構成される．

第 1 章は序論であり，背景，目的，論文構成について述べた．巨大で複雑なネットワークシステムは，時に，非常に小さな障害が要因となってシステム全体が崩壊に陥る．このような現象はカスケード故障(cascading failure)と呼ばれており，ネットワーク科学において研究が進展している．これらの研究の多くは停電または通信障害を扱うものであり，シンプルなモデルで 2003 年イタリア大停電時の障害波及パターンを表現するなど，工学的な応用の成功例が存在する．Barabási (2016)はカスケード故障が発生するネットワークシステムの性質を示しているが，電力網や通信網に限らず，交通網も同様にその性質を満たすはずである．しかし，これまで交通網に関する言及はほとんどなされていない．ネットワーク科学は現実のあらゆるネットワークシステムの性質について研究する学問であるにも関わらず，この状況は不自然である．両分野はともにネットワークの脆弱性をひとつの研究対象としており，異分野の概念が学際的に融合することで，双方の学術領域は更に大きく発展することが期待できる．この大きな目的の達成に向けて，本研究では，ネットワーク科学と交通工学の両分野におけるネットワーク脆弱性に関する研究の全体像を客観的かつ包括的に明らかにした上で，両分野におけるカスケード故障の性質の把握およびリスクマネジメントの提案を行い，概念の学際的融合の可能性と今後の方向性について議論する．

第 2 章では，引用ネットワーク分析を用いて，交通工学とネットワーク科学の両分野におけるネットワーク脆弱性に関する研究の全体像を客観的かつ包括的に明らかにした．まず，オンラインの学術データベースである *Web of Science* から，“network”および“vulnerability”をキーワードとして有する論文データを取得し，論文をノード，引用関係を有向リンクとするネットワークを構築した．次に，巨大弱連結成分を抽出した上で，Louvain algorithm を適用することでコミュニティ構造を明らかにした．そして，各コミュニティに対してメインパス分析を適用することで，コミュニティ内における研究の系譜を明らかにし，レビューを行った．さらに，コミュニティ内外の引用関係を Sankey 図を用いて可視化することにより，ネットワーク科学と交通工学の両分野間の非対称的な引用関係を定量的に示すとともに，カスケード故障研究と交通ネットワークの脆弱性研究の間には双方向で引用関係がほとんど存在しないことを示した．

第 3 章では，ネットワーク科学におけるカスケード故障モデルを用いて，ネットワークの異質性に起因する耐攻撃性の差異を示すとともに，カスケード故障に対する新たなリスクマネジメントを提案した．提案手法は，特にソーシャルネットワークにおいて影響度の高い influencers の特定や感染症の拡大阻止等への応用が挙げられている collective-influence と呼ばれる指標を，既存研究とは正反対に用いることで *non-influencers* を特定し，これらを意図的に破壊することでネットワーク全体を防護するものである．既存手法と比較して大幅に計算コストが削減されるだけでなく，特に異質性の高いネットワークに対して，より効果的に損害を軽減できることを示した．

第 4 章では，グリッドロックを交通網のカスケード故障として捉えた上で，第 3 章のリスクマネジメントを応用する形で，リンク除去（閉鎖）によるリスクマネジメントを提案した．スループットがゼロの状態であるグリッドロックは，カスケード故障の終局状態に相当するものであり，ネットワークに対して限定的な事象が初期故障となって最終的にグリッドロックに至った場合，その一連の現象はカスケード故障であるといえる．本研究では，交通制御において重要とされる経路選択行動が障害の波及に与える影響について分析した．そしてネットワークトポロジーのわずかな差異が大きく影響し，経路選択行動によって自然にグリッドロックを回避する状況と障害の連鎖を拡大させる方向に働く状況があることを示した．さらに，リンク閉鎖によるリスクマネジメントの効果に対しても経路選択行動が強く影響することを示した．

第 5 章では，前章までに得られた結果に基づき，概念の学際的融合について定性的に議論した上で，今後の方向性について議論した．まず，第 2 章に関して，これまでは主にネットワーク科学の静的な分析手法が交通網へと適用されてきたことを示すとともに，リンク媒介中心性が公共交通網の動的特

性を反映させる形で応用されて脆弱性研究が進展してきた系譜を示した．次に，第3，4章で得られた結果を踏まえた上で，ネットワーク科学で特に研究対象となっている異質性の高いネットワークは，その脆弱性がネットワークトポロジーに強く支配されると考えられるため，フローモデルを単純化してもシステムの性質が失われにくい可能性を指摘した．道路網のように同質性の高いネットワークの脆弱性は，ネットワーク科学においてあまり議論されていないことから，この点において交通工学からネットワーク科学への概念応用による貢献が期待できる．最後に，今後の方向性に関連して，あらゆるネットワークシステムにおけるカスケード的事象が類似したべき則に従って発生している普遍性について述べ，交通システムで発生するカスケード的事象においてもこの普遍性が観測される可能性があることに言及した．

第6章は結論であり，本研究で得られた成果および今後の課題を整理した．

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	土木・環境工学 系 土木工学 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	杉下 佳辰	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	朝倉 康夫
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This dissertation, titled "Vulnerability of Transportation Networks to Cascading Failure", consists of six chapters. Complex networked systems sometimes collapse caused by localized shocks or errors. Such a phenomenon is called cascading failure and it has been studied in a scientific field, complex networks (also known as network science). So far, most existing studies have discussed blackouts or communication disturbances and there are some successes in engineering applications such as expressing patterns of failure propagation in the Italian blackout in 2003. Barabási (2016) shows the natures of the systems where cascading failure can occur, taking power grids or communication systems as examples. However, not only these systems but also transportation systems should satisfy these natures. Nevertheless, there has been little mentions about transportation systems. This situation seems strange, because complex networks should be a study of any complex networked systems in the real world. The aforementioned two fields have network vulnerability as a research topic in common. Actually, studies on network vulnerability in the two fields emerged at almost concurrently about 2000 and they have been grown rapidly. However mutual understanding between these two fields is currently still lacking. Therefore it is expected that both academic fields will develop further by interdisciplinary fusion of concepts in different fields. In order to achieve this great objective, this dissertation aims to objectively and comprehensively clarify the overall picture of the studies on network vulnerability in the two fields, to investigate cascading failure and propose risk management, and to discuss the possibility of interdisciplinary integration of concepts and the future directions.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).