

さきがけ 研究提案書

応募研究領域	情報環境と人
研究課題名	多層ネットワークモデルを用いた交通インフラの評価手法の開発
研究者氏名	篠田孝祐
所属機関・部署・役職	産業技術総合研究所知能システム研究部門 産総研特別研究員
研究者番号	
学歴 (大学卒業以降)	平成 11 年 名古屋工業大学 知能情報システム学科 卒業 平成 13 年 北陸先端科学技術大学院大学 博士前期課程 知識社会システム専攻 終了 平成 16 年 北陸先端科学技術大学院大学 博士後期課程 知識社会システム専攻 終了 (指導教官 國藤進 教授) 平成 16 年 博士 (知識科学)(北陸先端科学技術大学院大学) 取得
研究歴 (主な職歴と 研究内容)	平成 13 年～平成 15 年 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター テクニカルスタッフ マルチエージェントグループにて社会シミュレーション(災害救助)に関する研究に従事 平成 16 年～平成 17 年 防災科学総合研究所 地震防災フロンティアセンター 減災のための情報システムに関する研究に従事 平成 17 年～平成 20 年 防衛大学校 情報工学学科 助教 複雑系ネットワークに関する研究に従事 平成 20 年 - 現在 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 歩行者ダイナミックシミュレーションに関わる研究に従事
希望する研究期間・研究費	<input checked="" type="checkbox"/> 3 年間 <input type="checkbox"/> 5 年間 (平成 20、21 年度発足領域のみ) 全研究期間での研究費希望総額 (4000 万円) ※間接経費を含まない額を記入して下さい。
大挑戦型の希望 (平成 20、21 年度発足領域のみ)	<input type="checkbox"/> 大挑戦型としての審査も希望する ※希望する場合は、様式 7 を作成して下さい。 ※審査により、通常型で採択される場合があります。 ※大挑戦型のみのお応募はできません。
研究実施場所についての希望	<input checked="" type="checkbox"/> 現所属機関 <input type="checkbox"/> その他 (研究実施場所:)

研究課題要旨

○ 研究課題要旨

社会に存在するネットワークは、時間の経過と共に変化する。同時に、ネットワークを構築するリンクは様々な関係性から定義されており、複数のネットワークが重なりあうことで一つのネットワーク（多層ネットワーク）を為している。従来のネットワーク分析を扱った研究の多くは、ネットワークの静的な側面を対象とした、分析・モデル構築現象の説明に取り組んできた。本提案課題では、ネットワークの動的な側面である”ネットワークの遷移プロセス”に着目したネットワークの分析を、複数中心性尺度に基づくネットワークの生成モデルを拡張して行う。これにより、ネットワーク構造の遷移プロセスの分析ならびに、多層ネットワークの評価手法の開発を試みる。そして、実社会への応用として、多層ネットワークの一つといえる交通インフラを対象とし、ヒトの流れのプローブ情報を活用した交通インフラの設計を行うことで、ヒトの流れに対してアクティブなインフラ構築と他のサービスとの有機的な連携の可能性を示す。

○ 提案内容に関するキーワード

No.062 エージェント

No.063 スマートセンサ情報システム

No.217 地理情報システム

No.223 交通需要マネジメント

* 社会ネットワーク分析

○ 分野

主分野：No.0724 新しい人と物の流れに対応する交通システム

副分野：No.0206 シミュレーション

No.0203 サービスアプリケーション

○ 照会先

研究構想

1. 研究のねらい

人間関係や経済活動、交通インフラなど、ネットワークとして捉えられる様々なサービスは、時間の経過と共に変化する複雑で大規模なネットワークとみなせる。交通インフラでは移動経路がリンクとみなすことができるが、様々な公共交通機関があるように様々な関係性が内包されており、バスや電車のような特定の関係性のみに着目した場合でもネットワークを成している。したがって、社会ネットワークは、複数のネットワークが幾重にも重なることで一つのネットワークを形成する多層ネットワークとみなすせる。

本研究課題では、複数中心性尺度に基づくネットワークの生成モデルを用いた交通インフラのネットワーク構造の遷移プロセスの分析、ならびに多層ネットワークの評価手法の開発を試みる。そして、実社会への応用を前提として、ヒトの流れのプロープ情報を活用した交通インフラの設計や、観光・防犯など他のサービスとの連携の実現を試みる。

2. 研究の背景

従来のネットワーク分析に関する研究の多くは、ネットワークの静的な側面を対象とした分析・モデル構築・現象の説明に取り組んできた。例えば、ネットワーク構造全体に着目した研究としては、ソーシャルネットワークサービス (SNS) の分析では、ある時点のネットワークの構造的特徴やコミュニティ形成の状況の観測が目的であり、観察された構造を再現が可能なモデルの発見・構築や、観測された現象の説明などを試みている [松尾 07]。また、全体の構造ではなくノードに着目した研究として、Matthew らは、各ノードの役割を考慮したネットワークの成長を、ゲームに基づくモデルとして Network Game [Matthew08][Andorea09] を用いて経済活動におけるネットワークの形成を議論している。現在のネットワーク分析において、対象とするネットワーク (サービス) がどのように利用されどのように運用するのかや、他のネットワークを考慮したときの評価手法は確立していない。

つまり、社会ネットワークを運用という視点からみた場合、”静的な側面”ではなく、それらの構造がどのように、なぜ変化するのか、という”動的な側面”に着目する必要がある。その理由とは、実在するネットワークの多くは、時間の経過とともに変化する複雑で、大規模なネットワークであるためである。では、なぜ、これまでの研究が”静的な側面”にのみ着目していたのか。理由としては、まず、大規模で時間とともに変化する複雑なネットワークを形成する過程を収集・分析することが可能となってまだ間もないためである。そして、SNS のように構造の変化が観測できる仕組みがあっても必ずしもすべての事象を観測できるわけではないためである。また、観測できたとしても十分に説明できるモデルがないためである。今後は、”ネットワーク構造の変化”を発

見し、その”変化のプロセス”を説明することが重要な課題となると考える。

さらに、人間関係・経済活動・交通インフラに限らず多くの社会ネットワークは、そのリンクの定義となる関係性は複数の要素から成り立っていることが多い。人間関係を例に挙げるのであればコミュニケーションの機会という視点から会社での立場や趣味などが関係性の定義として考えられ、交通インフラであればヒトの流れという視点から移動手段が関係性の定義として考えられる。それらは、一つのネットワークとして捉えることもできるが、個々の関係性からなるネットワーク同士が、他のネットワークの構造やそのネットワーク上の流れなど互いに与える影響は小さくなく、一つのネットワークとして分析することが必ずしも適しているとは限らない。また、各関係性から形成されるネットワークは、個々に適したネットワーク構造があると同時に、他の関係性が形成するネットワークから何かしらの影響があると考えられる。例えば、人間関係は、古くは、言葉を得て対面同期によるコミュニケーションが可能となったことで、文字を得て非対面非同期のコミュニケーションが可能となったことで、最近ではメールによるコミュニケーション機会を得たことで人間関係が変わったと言われる。また、交通インフラでは、鉄道の伸長によりバス路線が大幅に見直されることは多々ある。従って、ネットワークの構造変化を観測できたとしても、その分析は容易ではなく、一つのネットワークの中で複数のネットワーク同士が相互に影響をあたえあう系（多層ネットワーク）を考慮し評価する手法が求められると考える。

本提案課題の研究を応用したサービスの実現のための対象として交通インフラの評価・設計を考えている。現在、交通インフラの整備は、個々の交通機関の問題として扱われることが多く、個別の交通機関での問題解決が中心である。現実問題として、さまざまな状況の変化への対応が遅れたためか、路線バスなどの交通サービスが廃止され、赤字での運用が前提としたコミュニティバスが導入が検討・実施されており、交通インフラ整備全体としての見通しが明るいとはいえない。また、ヒトの流れこそが、地域経済のつながりやヒトの目の行き届く安心安全な生活の基盤となりうるが、現在の交通インフラ設計では活用されているとはいいがたい。デマンドバスや、Park&Ride、欧米でのセルフサービスレンタルサイクルのように複数の交通機関を活用することでの解決は試みられているが、交通インフラ全体の問題として議論する枠組みが確立しおらず、本提案課題にて多層ネットワークサービスの設計の可能性を議論する対象として交通インフラは適切であると考えられる。

3. 研究の独創性・新規性および類似研究との比較

本提案課題の独創性ならびに新規性は、

- 1) ”ネットワークの遷移プロセス”に着目したネットワークの分析
- 2) 多層ネットワークの評価モデルの構築
- 3) 人の流れのプロープの導入

1, 2は, 複雑系ネットワークに関係する項目である. 従来のネットワーク分析では, 静的な状態のネットワークを対象とした, 実在するネットワークの特徴の分析や, ネットワーク生成モデルの構築, ネットワークのモデルを利用した現象の説明が主である. だが, 本提案課題で対象とする交通インフラは, 静的な状態のネットワークとしての分析では, 中心性のような指標を利用した交通インフラの状況の説明はできたとしても, その交通インフラをどのように変えていけるのか, 何を变えていけばいいのかを議論することは難しい. 従って, 提案者は”ネットワークの遷移プロセス”に着目したネットワーク分析を行うことで, より能動的なインフラの設計に利用できると考える. それは, 同時に, 多層ネットワークの生成モデルへとつながる. 現在, 一般的なネットワーク生成モデルは, スケールフリーネットワークを形成する BA モデルをはじめとし, 一つの特定の構造を持つネットワークを形成することを目的としたモデルが多い [Newman00]. つまり, ある特定のネットワーク構造, ネットワークの静的な側面に, 着目した研究といえる. それに対して, 本研究課題では, ネットワークがどのように変化するのか, そして, その変化がなぜ起きるのかという動的な側面に着目して研究を行う点, そして, 関係性のある複数のネットワークの相互作用に着目する点が, 既存の研究とは異なる点といえる. 具体的には, 提案者の既存研究である「複数の中心性指標を用いたネットワーク生成モデル」をベースに, 複数のネットワークの生成モデルの構築に取り組む. この評価手法が確立することで, 実在するネットワークで表現可能なサービスの評価・設計に寄与でき, なぜその道路や路線が必要なのか, どのように役に立つのかにこたえられるものとなると考えている.

また, 実在するサービスの具体的な対象としては, 交通インフラをその対象に考えている. その理由としては, 交通インフラは, 鉄道, タクシー, バスなど複数の交通機関ごとに関係性を定義することが容易であり, 個々のネットワークのデータの収集・分析が可能である. また, 交通インフラは, ヒトの流れを支援するネットワークとして捉えたとき, 交通手段の変更可能な地点をノード, ヒトが移動可能なノード間をリンクとするネットワークと言え, 本提案課題における実サービスの対象に適している. 具体的に, 交通インフラの設計手法を実装するにあたり, 人の流れをプローブする手段の導入を考えている. 現在の公共交通機関に限らずさまざまなサービスは, 自身のサービスの利用実績などをもとに最適化を試みることで効率化を図ることが多い. だが, 交通機関同士の依存関係が高い交通インフラでは他のサービスとの利用状況を考慮することはもちろん, より粒度の細かい情報である”人の流れのプローブ”を行えるサービスを加えることで, 都市の機能, ヒトの活動, 産業構造などの変化に緩やかに対応する交通インフラ設計を試みる. このように, 複数の交通インフラの利用状況などを考慮した, サービスの評価・設計は, 本提案課題の独創的な点だと考えている.

4. 研究内容

当該提案課題における、大まかな研究テーマを下記に示す。

- 1) 複数の中心性尺度を用いたネットワーク成長モデルの拡張
- 2) 交通機関（路線バスなど）を対象としたネットワークの遷移の分析
- 3) 交通機関同士の相互の影響に関する分析
- 4) セルフサービスレンタルサイクルを活用した、アクティブな交通インフラサービス設計の実現性の評価

提案者らは、「複数の中心性尺度に基づくネットワーク生成モデル」の研究 [松尾 06] [Shinoda07][篠田 08]にて、ネットワークの中心性と呼ばれる指標をネットワークの成長要因としてネットワークの生成モデルを提案した。社会ネットワーク分析の分野では、ノードの評価基準として中心性が提案されており、様々な視点から複数の中心性が提案されている。提案者らは、その中心性に着目したネットワーク生成モデルを提案し、異なる中心性をモデルに適用することで、特徴的なネットワークの成長が生じることがわかった。つまり、ネットワークの成長プロセスに中心性が影響をあたえている可能性がある知見を得ている。よって、1では、提案者のモデルをベースとして、2,3のネットワークの変遷プロセスや、ネットワーク間の相互作用の分析を行うモデルの作成を試みる。

具体的には、路線バスの路線図データを収集し、路線が増加する傾向、減少する傾向などを分類することで、バス路線が形成するネットワークに典型的な変遷パターンがあるかなど、モデル構築の基礎データを作成する。また、路線バスを基礎データとして、収集可能な交通流量データ（鉄道、交通流量調査、道路網）との比較を、計算機シミュレーションを利用して行う。

そして、4では、将来的な実サービスの提供を想定して「歩行者プローブ情報を活用した交通インフラサービスの設計」の可能性を検討する。歩行者プローブ情報の獲得手段として、セルフサービスレンタルバイクの活用を想定する。このセルフサービスレンタルバイクとは、多数の駐輪場を設け、貸出し手続きを自動化することで、安価に自転車を貸し出すサービスである。このサービスが活用されることで得られるであろう、歩行者の状況（自転車の利用状況、もしくは、自転車へのセンサの搭載も想定）をもとに、セルフサービスレンタルバイクやバス、タクシーの短期・長期的な視点での運用のサポートを行えるサービスの実現性の評価を試みる。ここでの短期的な視点とはそれぞれの車両の配置などがそれにあたり、長期的な視点とは駐輪場、路線、タクシー乗り場の配置などがそれにあたる。現時点で考えている具体的な課題は以下である。

- 既存の交通インフラにセルフサービスレンタルバイクを導入することの有効性の評価
 - 路線バス or タクシーとの相補的關係性が築けるか
 - 利用者のデマンドに応じた自転車の再配置
 - プローブした情報の活用

- ヒトの移動データの提供
 - プローブ情報からモデル経路の抽出

なお、セルフサービスレンタルバイクは、近年、欧州の都市部を中心に活用され始めている公共交通サービスであり、フランスのパリの Vélib[®]、ドイツのベルリンの Call-a-Bike、スペインのバルセロナの Bicing、ルクセンブルクの Vél'oh! などが実施され、主に環境面から評価を受けている。このサービスでは、従来のレンタルサイクルと比べ、利用者が自由に乗り降りできるように非常に多くの駐輪場が設けられており、歩行とバスとの間を補うような交通手段として提供されている。ドイツでは主に鉄道会社が提供していることから、日常生活での利用を見込んだ交通機関である。単に、歩行者情報を取得するだけであれば、警察などが行っているような流量調査を行うことや、位置情報を取得できる観光情報サービスの活用なども考えられる。だが、それらの方法では、まず、現状の交通インフラでは満たせないヒトの流れの需要を取得することは難しい。また、情報取得を目的としたシステムの設計は交通インフラという枠組みを超えた活用は利用者に過度な負担を強いる可能性がある。そして、個人的な経験ではあるが、歩行で移動可能な範囲と、バスでの移動に適した距離には開きがあり、日常生活ではもちろん、旅行先などではちょっとした移動手段として自転車があれば便利だということが多い。また、歩行や自転車の移動には、レンタカーやバスとは異なる「体験」の機会があり、1家庭あたりの自転車保有台数が多い日本では欧米とは事情が異なるとおもうが、遠くないうちに日本でも導入が検討されるのではないかと考えている。したがって、本提案課題では、実社会への応用として、セルフサービスレンタルバイクの導入を前提とした設計を試みるが、その導入の促進を目的としているものではない。

5. 研究の将来展望

モバイル情報端末の浸透、通信環境の充実化に伴い、ヒトの生活に密接に関わってくる移動の支援は、身近なところではバスロケーションシステムや、携帯電話などを利用した経路検索サービス、将来的な課題含みながらもデマンドバス、Park & Ride など、様々な試みが行われている。本研究課題では、相互に影響をあたえる可能性がある複数のサービス全体の評価手法をネットワークの視点から試みるが、サービス全体のロバストネスを考慮した評価手法へと拡張したい。また、交通インフラという視点からは、交通機関ごとのリンクのもつコンテキストを考慮した評価手法の開発も必要である。例えば、ロードプライシングでは交通量の低下によって都市部周辺の商店の売上げの低下や、歩行者の増加による犯罪の発生率の低下などの報告もある。このように、副次的効果ではあるが、リンクによって利用者の体験に違いや外部への影響の違いが生じる。このような、副次的な効果も考慮することで、防犯や観光、地域活性化などより現実的なニーズへと答えられるのではないかと考えている。そして、本提案課題にてとりあげるセルフサービスレンタルサイクルが交通インフラの設計に大きく寄与する可能性を示せた際に

は、実社会に導入するためのプロセスに何かしらの貢献ができることを期待している。

論文・著書・特許リスト

○ 主要文献

[松尾 06] 松尾豊, 篠田孝祐, 中島秀之, ” 中心性に着目した合理エージェントのネットワーク形成” , 人工知能学会論文誌, pp.122--132, 2006

[篠田 08] 篠田孝祐, 松尾豊, 中島秀之, ” 複数の中心性尺度によるネットワーク生成モデル” , 知能と情報, pp.412--422 , 2008

[Shinoda07] Kosuke Shinoda, Yutaka Matsuo, Hideyuki Nakashima, "Emergence of Global Network Property based on Multi-agent Voting Model", *AAMAS2007*, pp.66--73, 2007

[Shinoda05] Kosuke Shinoda, Itsuki Noda, Masayuki Ohta, Yoichiro Kumada, Hideyuki Nakashima, "Is Dial-a-Ride Bus Reasonable in Large Scale Towns? --- Evaluation of Usability of Dial-a-Ride Systems by Simulation ---", *IJCAI-03 Workshop on Multiagent for Mass User Suppor*, pp.45--52, 2003

○ 参考文献

[松尾 07] 松尾豊, 安田雪, “SNSにおける関係形成原理 -mixi データの分析 -“ *MMRC Discussion Paper No.107*

[Matthew08] Matthew O. Jackson, "Networks and Economic Behavior", *The Annual Review of Economics*, 2008

[Andorea09] Andorea Galeotti, Sanjeev Goyal, Matthew O. Jackson, Fernando Vega-Redondo, Leeat Yariv, "Network Games", *Review of Sconomic Studies*, 2009

[Newman00] M. E. J. Newman, “Models of the Small World: A Review”, *cond-mat*

○ 主要特許

特許 4122429号, 野田五十樹, 太田正幸, 篠田孝祐, 中島秀之, 熊田陽一郎, 車谷浩一, "バス運行形態評価方法, ならびにバス運行形態評価プログラムおよび該プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体 ",(特願 2003-075217, 出願平成 15 年 3 月 19 日)

他制度での助成等の有無

提案者ご自身が、現在受けている、あるいは申請中・申請予定の国の競争的資金制度やその他の研究助成等制度での助成等について、制度名ごとに、研究課題名、研究期間、役割（代表者、あるいは分担者等）、研究費の額、エフォート等を明記して下さい。記入内容が事実と異なる場合には、採択されても後日取り消しとなる場合があります。

制度名	研究課題名 (代表者名)	研究 期間	役割 (代 表/ 分担)	研究費(千円) (1)H21 年度 (2) 期間全体	エフォート (%))
さきがけ					

(さきがけ - 様式6)

その他特記事項

大挑戦型審査資料

1. 研究の概要

2. 研究の革新性、独創性

3. 挑戦目標と目標達成に向けた構想

4. 将来的な社会、経済、学術へのインパクトおよび波及効果