

機関番号：12601

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560564

研究課題名 (和文) 属性を付与された要素から成るネットワークモデルに関する研究

研究課題名 (英文) A study on network model composed of weighted elements

研究代表者

藤井 明 (Fujii Akira)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：20126155

研究成果の概要 (和文)：

グラフ理論はノードとエッジの位相的な関係性に基づく数学理論であるが、これを現実の事象に適用しようとするとき極度な抽象化に伴い欠落する重要な情報が多く、実態を再現するには情報不足となり、実効的な成果が得られない場合が多い。本研究は、グラフのノードやエッジにさまざまな属性を付与することにより、現実により即した状況を設定したネットワークベースのシミュレーションモデルを構築し、それを都市・建築のさまざまな事象に適用してその有効性を検証するものである。

研究成果の概要 (英文)：

Graph theory is a mathematical method to analyze topological relationship between nodes and edges. As the graphs are extremely abstracted and cause the loss of important information, the models are used to fail to give an appropriate explanation to the real world. The aim of this study is to make a simulation model based on network theory, which can be applied to more real situations by giving various attributes to each edge and node. The effectiveness of this model will be verified by applying it to the urban and architectural phenomena.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・ 建築計画・ 都市計画

キーワード：建築論, グラフ理論

1. 研究開始当初の背景

グラフ理論は、1736年のオイラーの論文（ケーニヒスベルグの7つの橋）に始まるが、ノードとエッジの位相的な関係性を分析す

る数学理論である。長い歴史を経て、数学の理論としては完成度の高いものになっているが、これを現実の事象に適用しようとするとき、極度な抽象化に伴い欠落している情報が

多すぎて、実効的な成果を得られない場合が多い。

ノードとエッジとそれらの隣接関係だけでグラフ理論は組み上げられているが、現実世界では、ノードには大きさや重さ、重要度といった属性が付随しているし、エッジにも太さや、容量と言った制約があり、全ての要素が等価という前提は現実的でない。また、隣接関係に関しても、そこには当然ながら距離や関係性の強さなどのさまざまな力学が働いていて、その強度は一定ではない。加えて、有向、無向というふたつの流れの向きが想定されているが、片方向あるいは双方向という単純な方向性だけではなく、時間や状況によって方向性が変化したり、混在したりする状況が生じたり、そこを流れる量や質に制限が設けられる場合もある。

グラフ理論を現実の事象に適用しようとすると、ノードやエッジ、隣接関係のそれぞれに属性を付与し、それらが時空間の変容に応じてさまざまに変化するという前提で論を組み立てる必要があるが、そうした複雑な状況を再現できるモデルはこれまでに存在していない。一般的なネットワーク分析はこうした複雑な状況は想定せずに、比較的単純な仮定の下にモデルを組んでいる。ネットワーク分析で主に扱われているのは、最短路問題や、最大流問題、最小費用流問題、スケジューリング、最短木といったオペレーションズ・リサーチの分野における最適解問題が大部分で、都市・建築の分野に現れるような複雑で可変的なモノや人の流れに即応できるレベルのものはない。

2. 研究の目的

本研究は、グラフ理論をベースにして、その要素にさまざまな属性を付与することにより、より現実に即した状況を想定したネットワークベースのシミュレーションモデルを構築し、それを都市・建築の事象に適用してその有効性を検証しようとするものである。

既存のマルチエージェント・モデルは緊急時の避難行動や、商店街における買い物客の流動現象などの分析に用いられているが、その前提となる目的意識や、目標といったものは単純で、その評価軸は線形なものとして設定される場合が多い。現実には、モノとモノ、人と人とは相互に影響し合っていて、その関係性は非線形なものになっているが、そうした状況を考慮することは稀である。

介護のためのデイケアを例にすると、どのようなルートで要介護者を施設に移送するのが望ましいかというのが現実的な問題となる。どのような順番で各家庭を廻るのが効率的でかつ安全であるかということを考えるには、住居の前の道路の幅員や、一方通行の有無、車のドアと入口の位置関係といった

ミクロな条件や、道路の混雑状況、信号の位置、路面の状況といったマクロな条件等をさまざまに評価して経路を決定する必要がある。個別に要因の変化に対応していたのでは、組み合わせが多すぎて、その解決に莫大な時間と労力を要することになり、現実的ではない。これらの諸条件を組み込んだモデルを比較的容易に作るためには、ノードやエッジ、隣接関係といったグラフの要素に、あらかじめさまざまな条件を入れることができるようにした統合的なモデルを作っておく必要がある。こうしたモデルは、ノードやエッジ、隣接関係の属性を属性マトリックスの形で整備しておいて、その要素を状況に応じて変化させる仕組みを考えることにより実現可能と考えている。このような統合的なモデルが実現すると、それは、都市・建築のさまざまな事象に適用可能で、極めて有用なものになるばかりではなく、他のさまざまな分野にも応用可能で、その適用範囲は極めて広いものと思われる。

3. 研究の方法

グラフの各要素やその関係性がもつ属性は“重み”として記述されるが、本モデルで重要なのは次の2点である。ひとつは、その重みは静的に固定された性状のものではなく、時間と共に動的に変化するものであるという点で、いまひとつは、重みづけられた要素は、他の要素の重みに対しても影響を及ぼし、更なる変化の誘因になるという点である。

こうした状況を記述するためには、有向グラフを基本とし、その属性が時空間に応じて変化するという仮定から出発する必要があるが、ある変化が周辺にも影響を与える状況を考慮すると、その変化は単なる多変量関数で示されるような関係性になるのではなく、複雑系を内包したものになっていなければならない。交通渋滞が良い例であるが、どこか一カ所でもボトルネックができると、それが次々と連鎖し、結果的には大渋滞を引き起こしてしまう。部分のわずかな変化が、全体の様相までも変化させてしまうという複雑系の考え方をこのモデルには積極的に導入する必要がある。

研究開始に先行して、研究代表者の藤井はマルチエージェント・モデルを活用したプログラムをいくつか開発しており、それらを都市・建築の事象に適用してきた経験を有する。こうしたモノや人の流動現象を再現するプログラムに、前述の複雑系の性質を有する“重み”を組み込んでシミュレーションモデルをつくる。その後、収集した実際の事象のデータを用いて、モデルの検証を行う。複雑系にはさまざまな様相があり、実際の現象に適用しながらその再現性を確認する作業が不可欠で、フィードバックを繰り返しながら、

シミュレーションモデルの完成度を高めてゆかねばならない。

グラフは関係性を図示できるが、モデルにおいては、結果をわかりやすい形で視覚的に表現することが重要である。そのためにグラフィックスとしての表現にも留意し、わかりやすいプレゼンテーション用のメニューをいくつか用意する必要がある。

4. 研究成果

(1) 平成 20 年度

プログラムを作成するに際して、先ず、データ形式の一元化を行っている。

2次元平面のグラフのデータ形式には様々なものがある。データ入力の際には、個別にそれらに対応した入力形式を作るが、その後の処理においてはひとつの形式に変換しておくのが効率的である。

2次元空間の関係性を表すデータには、ノードの位置情報を座標値として持つものと、ノードの位置そのものは分からないが、エッジの長さが距離として与えられているものがある。

ノードの位置情報を含むデータにはいくつかの形式があるが、代表的なものとして、次のようなものがある。

(以下の記述で、 x , y は座標値、 eg はエッジ、 nd はノード、 $dist$ は距離を表す)

① エッジの両端のノード座標

$(x_i, y_i) - (x_j, y_j)$ の形でデータが与えられた場合には、前処理として、ノードとエッジに連番を振り、各エッジの長さを求めておく。

② エッジの番号と両端のノードの座標

$eg_k, (x_i, y_i) - (x_j, y_j)$ の形でデータが与えられた場合には、前処理として、ノードに連番を振り、各エッジの長さを求めておく。

③ ノード番号と座標およびエッジ番号と両端のノード番号

nd_e, x_e, y_e と eg_k, nd_{k0}, nd_{k1} の形でデータが与えられた場合には、前処理として、エッジの両端のノードとエッジの長さを求めておく。

一方、エッジの長さが与えられたデータとしては次のようなものがある。

④ エッジの両端のノード番号とエッジの長さ

前処理として、ノードとエッジに連番を振っておく。

⑤ エッジの番号と両端のノード番号とエッジの長さ

前処理として、ノードに連番を振っておく。

前処理を終えたデータは、 $nd_{i0}, nd_{i1}, dist_i$ の形式であらかじめリスト化し、ノード毎に連結するノードとその距離を整理して

おく。この形にしておけば、エッジに連結しているノードとその長さに関する情報を容易に取り出すことができ、以降のプログラミングにおいて、開発効率と実行時間を飛躍的に高めることができる。

次いで、基本的なプログラムとして、以下のようなものを作成している。

- ① ノード間の最短路
- ② ノードを総当たりで結ぶパスとエッジの通過回数
- ③ ノードの次数
- ④ depth の計算
- ⑤ ノード間の経路探索
- ⑥ 次数が 1 のノードの消去
- ⑦ マウスによるノードとエッジの消去、付加
- ⑧ 連結グラフへの分解
- ⑨ ブリッジの探索
- ⑩ グラフのノードの移動
- ⑪ 切断点のチェック
- ⑫ サイクルのチェック
- ⑬ 指定したサイクル数のサイクルの抽出

これらを無向グラフ、有向グラフ別に作成している。

(2) 平成 21 年度

前年度に作成したプログラムのノードとエッジに重みを付けるには、それぞれに属性値を入れる配列を用意すればよい。(この属性値は周辺の時空間の状況に応じて変化する。) ノードの場合には、ノードを表す円の大きさで、また、エッジの場合にはエッジの太さでグラフを図化すると視覚的にわかりやすいものになる。

ノードの重みは、そこにある容量のものがあると考えればよく、例えば、施設の場合では収容人数や店舗数、売場面積などを表現していると見なすことができる。一方、エッジの重みは、そこを通過することのできる容量で、通りやすさや、逆に通りにくさを表しているものと考えられ、例えば、道路の場合では、車線数や幅員、路面の状況などが相当する。

最短路や経路探索を適用した事例はよくあるので、サイクルに着目した分析手法の 1 例を次に紹介する。サイクルは一巡する経路であるが、単にパスでつながっているツリー型のつながりとは異なり、セミラチス状の構造を示し、複雑にからまりあっているような状況を分析するのに適した手法である。この分析手法として、例えば、下図のようなグラフを考える。

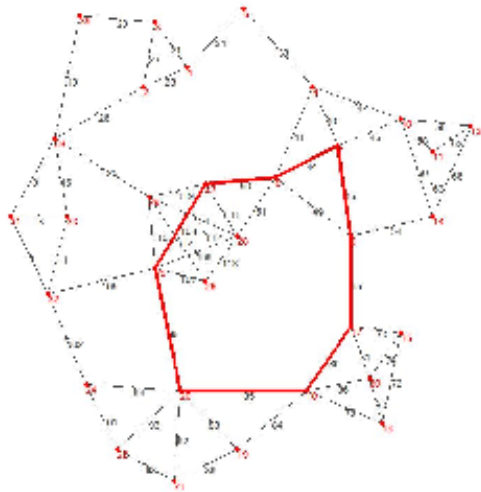


図 8 サイクルの経路の抽出例

このグラフの中には、3 サイクルが 87 個、4 サイクルが 140 個、5 サイクルが 170 個、6 サイクルが 162 個、7 サイクルが 245 個、8 サイクルが 472 個、9 サイクルが 1,008 個、10 サイクルが 2,540 個含まれている。各ノードを始点とするサイクル数は、そのノードが全体に占める位置的な重要性を表していると考えられ、例えば、施設配置を考える際の示標になる。サイクル数が多いことはそのノードへのアクセスが良いことを示し、利便性の高い場所であることを示している。人の集まる施設などは、こうしたノードに立地させることが望ましい。また、ひとつのサイクルの上にあるノードは、循環路上にあることを意味している。これは、配送や送迎のルートを決める際の手がかりになる。有向グラフを基本としているので、一方通行などは、双方方向のグラフの片方の辺を削除することにより容易に対応できる。また逆に、新たなパスの建設も、エッジの付加という形で簡単に実現でき、将来的なエッジの変化の影響を想定することもできる。このプログラムはパスの使用頻度もカウントできるようになっていて、エッジの重要性も同時に計測できるようになっている。

サイクルを用いるとセミラチスの構造分析が容易になり、それが形成している状況とその要因を容易に理解できるようになる。サイクルに着目することは、複雑なツリーから枝葉を切り落とし、根幹の部分のみを残すことに相当し、全体の見通しを良くすると共に、分析を容易にする功用がある。

(3) 平成 22 年度

事例研究として、道路網と施設、その利用者を対象に、道路事情や施設規模、利用頻度等を考慮したモデルを作成してシミュレーションを行う予定であったが、東京都の地理情報システムの最新版が、交渉を行ったが、

高額の使用料を必要とするとの結論に至り、その使用を断念している。そこで、他の事例研究をふたつ行っているが、ひとつは、駅前商店街を歩行者が回遊する場合のルート選択と移動に伴う経路上に存在する施設の分析である。駅を起点とする周回路は中小の駅前商店街でも、数百万から数千万通りになる。理論的には、エッジを人が通過する頻度はすべての周回路における使用頻度になるはずであるが、実際には、人の流れには粗密があり、混雑の度合いが異なっている。その理由は、施設の持つ魅力度や歩行者の目的意識や移動の限界値等が不均質で、流れが非定常的なものになっているためであるが、これは現象としては歩行者数というもので数値化できる。これを基に、商店街にある主要な施設が歩行者に対してどのような誘因になっているかをシミュレーションにより再現することを試みている。東京近郊のターミナル駅を対象にして、店や人の行動に時間的あるいは空間的な変動要因を導入しながら、さまざまな条件下でのシミュレーションを行い、モデルの有効性と限界とを調べた。

いまひとつの事例は、会社間の結びつきに関する分析である。大企業は、それぞれに系列の子会社や取引先を持っているが、その関係性はセミラチス構造になっていて、サイクルを活用した分析に適している。

まず、会社間の結びつきをどのように数値化するかということであるが、特許庁が web 上で公開している特許の申請状況に関するデータベースを用いて併願している会社を調べることにより、その概要を知ることができる。また、その出現回数により、エッジに重みをつけることができる。さらに、会社には資本金や従業員等の規模があるが、これをノードの重みとすることが可能である。こうして、ノードとエッジに重みを付けたグラフを描くことができるが、このグラフに対して、かなめとなるノードを取り出すと、それはいわゆる大企業になっている場合が多く、そこから派生しているサイクル上にある会社がその企業と強い結びつきをもちつつ、その一方で、他の企業とも連携している状況がわかる。企業間の連携の姿は実際には見えないが、関係性をグラフ化することにより、可視化することができる。

これらはノードやエッジに重みを付けたグラフの一例にすぎないが、重みという形で属性を考慮することにより、より、現実に近い形で、都市様相を分析することが可能になる。

今回開発したシミュレーションモデルは、重み付けられたグラフを解析するための最も基本的なプログラム群であるが、これらを現実の事例に適用してみることにより、その効果と限界とが明らかになり、今後の方向性

について有益な示唆を得ることができた。属性に複雑性を組み込むことが必ずしも充分に行われていないが、これは属性の配列のみに関係する事項なので、その改善は容易と考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

該当なし

6. 研究組織

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 明 (FUJII AKIRA)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：20126155

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

今井公太郎 (IMAI KOTARO)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：20262123

橋本憲一郎 (HASHIMOTO KENICHIRO)
東京大学・生産技術研究所・助手
研究者番号：40361646

及川清昭 (OIKAWA KIYOAKI)
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号：00168840