

平成 20 年 12 月 25 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19760419
 研究課題名 (和文) マルチエージェントシステムを利用した
 パニック発生のメカニズムに関する研究
 研究課題名 (英文) Research on the Mechanism to Panic Applying Multi-Agent System

研究代表者
 鍋島 憲司 (NABESHIMA KENJI)
 東京大学・生産技術研究所・特任研究員
 研究者番号：80431815

研究成果の概要：

人々が都市で活動を行う結果、交通量が多く危険が発生しやすい地点というものが存在する。そのような地点を発見する手法を、実際の交通条件を反映した都市モデルと、マルチエージェントシステムと呼ばれるアルゴリズムを利用することによって開発した。また開発した手法を建築空間に応用し、どのような平面形状でパニックが発生しやすいのかを明らかにする評価手法を確立する必要がある。そのための基礎的研究を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	0	1,600,000
2008 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	120,000	2,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・都市計画，建築計画

キーワード：防災計画，マルチエージェントシステム

1. 研究開始当初の背景

(1) コンピュータの計算能力が飛躍的に進歩したことによって、「マルチエージェントシステム」と呼ばれる新しいタイプのシミュレーションが実現可能になってきている。これはコンピュータ内部の仮想空間・仮想社会において、多数の独立したエージェントを、あるルールに従ってシミュレートすることによって、全体の複雑な振る舞いが観察できるようになったものである。これまで複雑な現象をシミュレートする場合には、エージェント (またはオブジェクト) の数を無限と見なすことによって全体を抽象化してしまう

ことによって実現していた。一方でローカルなルールを持ったエージェントを多数用意することによって、単純なルールから驚くべき複雑な全体が立ち現れる様子が観察されるのがこのモデルの特徴である。マルチエージェントシステムはまだ新しい研究分野ではあるが、その応用範囲は生物学から社会学、経済学に到るまで極めて広範囲であり、各分野に様々な新しい知見をもたらしている。このことが本研究の背景の一つに挙げられる。

(2) 一方で今世紀以降、テロを筆頭にした各種の社会不安に対する国民的な意識が高まっており、このことが研究のもう一つの背

景として挙げられる。天災・人災を問わず、災害時における高度な危機管理能力が国や企業に求められており、建築においても災害対策を反映した計画の必要性が高まりつつある。災害対策という言葉には二つの側面があり、一つは危機・災害を未然に防ぐということであり、二つめは発生してしまった状況において適切な対処をとるということである。換言すると前者はプランニングの問題であり、後者はオペレーションの問題といえる。しかしながら、建築計画の分野においてこれらの研究が十分に行われているとは言い難いのが現状である。災害を未然に防ぎ、もし起こったとしてもオペレーションがスムーズに行われる建築計画について研究を進める必要があるが、このような研究はまだ少ない。以上が本研究の背景である。

2. 研究の目的

イベントの会場や都内の商業施設、休日の繁華街など、高密度に人が集積された状態を考えると、群衆は潜在的にある種の危険性を内包しているといえよう。たとえば群衆が階段を上り下りしているときには、将棋倒しが発生することがまれにおこる。また災害の発生時には、災害そのものではなく避難中の群衆が引き起こしたパニックによる二次災害の方が被害が大きいこともある。群衆の密度が高いがゆえに引き起こされてしまうこのようなパニック状態は、ある些細な事件が要因となっている場合がそのほとんどであり、そういった要因を排除しうる計画を行うことが重要である。

パニックが発生しやすい場所というのはある程度限られていると考えられる。今回は、こうしたパニック発生についての基礎研究として、パニックが発生しやすい場所を同定する手法の発見を研究の目的としている。対象としては、まず都市などのグラフとして表現できる空間について、パニック発生の確率が高いと考えられる場を発見する手法を考案する。続いて、それらを連続空間に適用する可能性について検討する。

3. 研究の方法

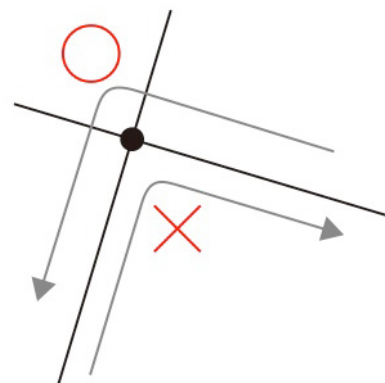
(1) 研究の対象として、まずは都市の解析を行う。都市はグラフによって表現が可能である。交差点や重要な場所をノードとして表現し、エッジがそのノード間を結んだモデルとして表現することが可能である。都市をグラフによって表現する手法は古くから知られており、グラフによる単純化によって様々な解析が行われてきた。本研究においても、グラフを用いることによってパニックが起りやすい場所の同定を行うこととする。この際、パニックが起りやすい場所がどのような場所と定義づけるのが重要である。

都市内を人や物が交通する際、多くが流入してしまうエッジというのが存在するはずである。実際には都市の様々な施設や人々の活動のリズムなどによってそうしたエッジは決定されるはずであるが、そうした要素を排除した単純な形態のみによってもある程度予測が可能にはずである。

(2) 都市の中において潜在的にパニックが起りやすい場所を発見するため、まずはじめにグラフ上の2ノード間を最短経路を発見する。この経路をグラフ上の全ての2ノード間について行う。実際に人々が都市で活動する際には、単純な2地点間の移動というものは考えにくい。そこでエージェントモデルを導入し、グラフ上の複数の点(20~50)の地点を巡回することとする。それらのうち2地点を移動する際は先に求めた最短経路を取るものとする。エージェントはある目的を持ってエッジ上を移動する。本研究では経路の総和が最短となるルートを探そう。エージェントが振る舞うこととした。これは一般に巡回サラリーマン問題と呼ばれている問題に等しい。このようにしてグラフ上で都市活動を擬似的に再現した際、流入量の多いエッジがパニックの危険性の高いエッジとなる。

(3) 2ノード間の最短経路を探索するためにダイクストラ法を利用した。ダイクストラ法は最短経路問題を効率的に解くことが出来る。スタートノードからゴールノードまでの最短距離とその経路の双方を求めることができる。ダイクストラ法は動的計画法的なアルゴリズムであり、手近で明らかなることから順次確定していき、その確定した情報をもとにさらに遠くまで確定していくことを特徴としている。

(4) 従来のグラフを用いた解析においては、ネットワークに重み付けを行うことはあまり見られていない。きわめて単純なノードとエッジの集積としてとらえられている。しか



し現実の都市をみると、ノードとエッジには様々な重み付けがなされている。たとえば道路には速度制限や一方通行などがあり、交差点には右左折禁止などの条件がついている。また交差点で直進・左折をするのと右折をするのでは要する時間が異なるのが通常である。

そこで本研究では、グラフにこれらの交通条件を付与した重み付きグラフも解析の対象とすることにした。ダイクストラ法を改良し、こうした重み付けグラフ上でも最短経路が探索できるようにした。条件なしのグラフ上での最短経路が、重み付きグラフ上での最短経路に一致するとは限らない。交通情報が都市の活動、交通の流入量にどのような影響を及ぼしているのかを評価できるようにした。

(5) グラフ上にエージェントを配置し、これらエージェントがグラフ上の決められた複数個の訪問先ノードを順番に訪れる。この際、距離（重み付きグラフでは所要時間）の総和がなるべく小さくなるように移動することをルールとした。この、距離（所要時間）の総和が最短となるルートを発見するために、Ant Colony Optimization というアルゴリズムを利用した。（以後 ACO）ACO はアリがえさを探索する際の行動にヒントを得て構築された、比較的新しいアルゴリズムである。

ACO の概要は以下の通りである。

1. エージェントはノード上にランダムに配置される。
2. エッジに仮想的なフェロモンを与える。
3. エージェント k がノード i にいるとき次のノード j に移る確率 $p_{ij}^k(t)$ は、

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_j^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \quad \forall j \in N_j^k$$

ただしここで η_{ij} はそのノードまでのフェロモンの強さ、 $\tau_{ij}(t)$ はそのノードまでの所要時間である。

4. エージェントが目的地に着くと 1 サイクルが終了する。
5. 所要時間に応じてエージェントが選択した経路が採点される。
6. 採点結果に基づき、成績のよかった経路上にあるエッジのフェロモンは強く、他のエッジのフェロモンは蒸発する。
7. 終局条件が来るまで以上を繰り返す。

ACO は仮想的フェロモンを介してエージェント間の通信が発生するため、局所的な最適化に陥ることを回避することが出来る。また、ヒューリスティクスを導入しているため、解

の収束が早く、訪問ノード数が膨大になっても近似解を発見できるのが特徴である。訪問ノードをランダムに入れかえ、何度もこの操作を繰り返すことによって、グラフ全体のうち流入量の多いエッジが明らかになってくる。

(6) 以上のアルゴリズムをコンピュータ上のプログラムとして実装した。プログラム言語としては C# を使い、CAD ソフトによって作成されたグラフデータを取り込んで、そのグラフ上をエージェントに探索させることにした。数値解析をするのみではなく、ビジュアルに表現できるように留意し、先に述べたグラフ情報に各種の重み付けをした場合、しない場合でルートがどう変化するのが一目で分かるようにした。エージェントがグラフ上を探索した最終的な結果、すなわち流入量が多くなるエッジも表現されるようにした。

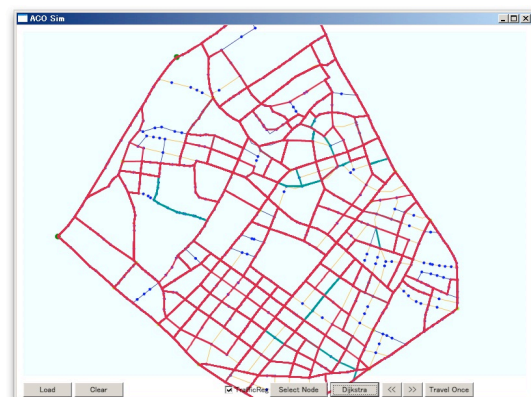
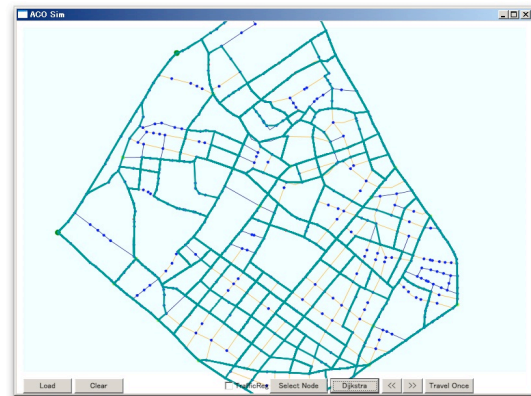


図 1 : 交通条件のないネットワーク上でのノード間の最短経路(上図)と交通条件のある重み付きグラフ上でのノード間の最短所要時間経路

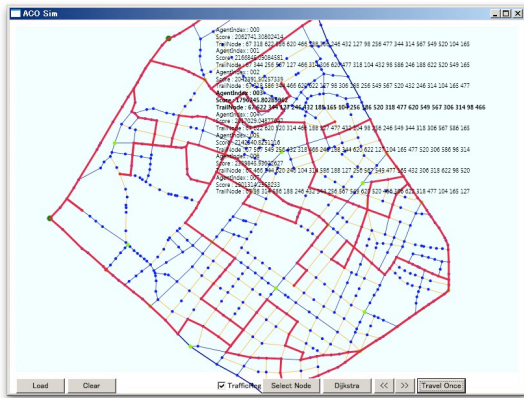


図2：エージェントがグラフ上を探索して発見した総所要時間が最小となるルート

(7) 以上構築してきたアルゴリズムを連続空間に適用する手法を検討した。連続空間を人々が避難等によって大量に移動するような事例を想定している。このような研究はこれまで、大量のエージェントが文字通りコンピュータ内の連続空間を移動することによって、避難や渋滞を再現していた。しかし、建築計画学的な観点から考えると、パニックの発生に対する平面形態の影響を定量的にとらえる必要がある。

そのため、本研究では連続空間をネットワークモデルとしてとらえ、グラフ化することによって解析することを検討した。具体的には連続空間内にランダムにノードを配置し、それらをドロネー網としてグラフ化することにした。グラフ上をエージェントが移動することにより、パニックが発生しやすい地点をもとめる。ただし、平面の形態を評価する手法についてはいまだその条件が整ったに過ぎない段階であり、さらなる研究が必要とされる。

4. 研究成果

パニックに関する研究はまだまだその途についた段階である。従って本研究もその全容を解明するには至らず、その準備段階が完了したにすぎない。しかしながら背景でも述べたように、危機の管理・回避に関する社会の要請は高まりつつあり、これを無視することは出来ない。本研究はその基礎研究として以下のことを行った。

- ・ 都市をグラフとして表現し、エージェントをそのグラフ上で活動させることによって、流入量の多いエッジを発見する手法を検討した。
- ・ 交通情報を付与した重み付きグラフで同様のことを行った結果、交通情報が都市活動にどのような影響を及ぼすかが分かるようにした。

- ・ ネットワークを用いた流入量解析を連続空間に援用し、パニックの発生しやすい地点、平面形状を定量的に評価する手法を開発するための方向性を示した。

以上が本研究の成果である。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍋島 憲司 (NABESHIMA KENJI)

東京大学・生産技術研究所・特任研究員

研究者番号：80431815