災害時における名古屋駅地下街の避難モデル

2004MM068 佐藤 由佳

指導教員: 伏見正則

1　はじめに

近年東海地方では、東海大地震が起こると言われている。地震等の災害が発生したとき、建物内では火災が発生してしまう可能性が考えられる。震災時に被害を最小限に抑えるためには、出口までの経路をしっかり確保し、建物内にいる人々が短時間で効率よく安全な場所に避難することが重要である。そこで、建物内の人々全てが安全に避難するにはどの経路で出口まで移動すればよいかを、建物をモデル化し、様々な場合を想定してシミュレーションを行っていこうと思う。

2　研究方法

2.1　問題解決のアプローチ

建物には避難のための通路、出口があり、避難する際にはこれらを使用するため、必然的に流れが発生する。この流れを用いて、建物内の最適な避難経路を求める問題を建物内のネットワークフロー問題として解くことにする。これは建物内という限定された場所をモデル化するため、枝の始点、終点がはっきりしており、フロー全体の流れを把握することができるためである。

2.2　対象の建物

本研究では、名古屋駅地下街のテルミナ、サンロード、ユニモール周辺の建物を対象とする。理由は飲食店が多く、火災が発生しやすい場所となっているからである。またミッドランドスクエア等の駅前開発によって、名古屋駅の桜通口側が太閤通口側と比べても多くの人が利用する環境なので、他の建物より安全性を重視する必要があるからである。

2.3　避難モデルの構成要素

2.3.1　避難群集モデル

全ての人々が避難経路を知らされていて、最適な出口に移動するとする。また人の心理状況は一切考慮しないものとする。

群集の歩行速度は混雑状況の影響を受けると考えられるが、ここでは人の標準歩行速度を1m/sと設定する。

2.3.2　建物のモデル

建物のモデルは仕事場、廊下、階段、ロビー等の建物の要素を表す点と枝からなるネットワークとその上を移動する人の人数を表すフローから構成されている。枝の属性には動的容量と、推移時間があり、前者は1秒間に枝の上を移動できる人数の上限を表し、後者は移動に要する時間を示す。

動的容量＝1秒間に1mを通過する人数

推移時間＝点間距離/平均速度

3　一般最小費用流問題のアルゴリズム

ここでは、流入口と流出口を1つに限らない、一般の最小費用流問題をとりあげる。以下に記号の定義を示す。

N_s:流入口の集合

N_t:流出口の集合

q_i^s:流入口$i \in N_s$の流入量

q_i^t:流出口$i \in N_t$の流出量

$$N_s \cap N_t = \phi$$

$$\sum_{i \in N_s} q_i^s = \sum_{i \in N_t} q_i^t$$

N:すべての点の番号の集合($N = \{1, 2, ..., n\}$)

M:すべての枝(無向)の集合

B:すべての枝(有向)の端点の番号の対の集合

M_i^+:点iを始点とする枝の集合

M_i^-:点iを終点とする枝の集合

d_{ij}:点iと点jの距離

a_{ij}:点iから点jへ流すことができる最大流量

x_{ij}:点iから点jへの流量

c_{ij}:点iから点jへ1単位流すのに要する費用

z:総費用

一般最小費用流問題を数式で表すと以下のようになる。

制約条件

$$\sum_{j \in M_i^+} x_{ij} - \sum_{j \in M_i^-} x_{ji} = \begin{cases} q_i^s & (i \in N_s) \\ 0 & (i \in N - N_s - N_t) \\ -q_i^t & (i \in N_t) \end{cases}$$

$$0 \leq x_{ij} \leq a_{ij} \quad ((i,j) \in M)$$

目的関数

$$\text{Minimize} \quad z = \sum_{(i,j) \in M} c_{ij} x_{ij}$$

次にプライマル・デュアル法についての式を示す。上記の記号の定義に加えて以下を定義する。

v_i:始点から点iまでに要する費用

以下の手順1と手順2を続けて何回実行したかを表すためにlという記号を用いる。点iから点jへのステップlの時の流量をx_{ij}^l、ステップlの時の総流量をq^l、総費用をz^lとする。はじめにx_{ij}^0=0、q^0=0、z^0=0、$l = 0$、また、$v_j^l (j = 1, 2, 3, ..., m)$を導入して、$v_j^0$=0とする。また、$n_s$を流入口、$n_t$を流出口とする。

[手順1]

n_sからn_tへの流量を1単位増やすときの費用最小の路の探索

(1)d_{ij}を次式で定める。

$$d_{ij} = \begin{cases} c_{ij} + v_i^l - v_j^l & ((i,j) \in B\text{で} \\ & x_{ij}^l = 0\text{のとき}) \\ -c_{ji} - v_j^l + v_i^l & ((i,j) \in B\text{で} \\ & x_{ji}^l = a_{ji}\text{のとき}) \\ 0 & ((i,j) \in B\text{で} \\ & 0 < x_{ij}^l < a_{ij}\text{のとき}) \\ 0 & ((i,j) \in B\text{で} \\ & 0 < x_{ji}^l < a_{ji}\text{のとき}) \\ \infty & (\text{その他}) \end{cases}$$

(2)n_sから$n_j(j = 1, 2, ..., m)$への最短距離Δv_jを求める。Δv_j=∞ならば終了とする。そうでなければ、ダイクストラ法を用いてn_sからn_tへの最短路Rを求める。

(3)v_j^{l+1}=v_j^l+Δv_jとする。

[手順2]流量増大と流れの変更

路Rに含まれる正の向きの枝の集合をR^+、負の向きの集合をR^-と表す。

$$\Delta q = \min\{\min_{(i,j)\in R^+}(a_{ij} - x_{ij}^l), \min_{(i,j)\in R^-} x_{ij}^l\}$$

を求めて、路RにそってΔqだけ流す。すなわち、

$$x_{ij}^{l+1} = \begin{cases} x_{ij}^l + \Delta q & ((i,j) \in R^+) \\ x_{ij}^l - \Delta q & ((j,i) \in R^-) \\ x_{ij}^l & (\text{その他}) \end{cases}$$

$$q^{l+1} = q^l + \Delta q$$

$$z^{l+1} = z^l + v_t^l \Delta q$$

とする。lの値を1だけ増やして手順1に戻る。

4 名古屋駅地下街からの避難

以下に名古屋駅地下街の基本モデルを示す。

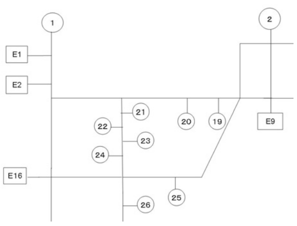

図 1: テルミナ周辺

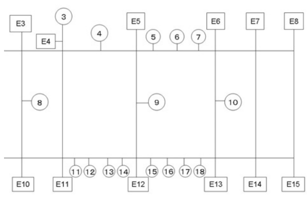

図 2: ユニモール周辺

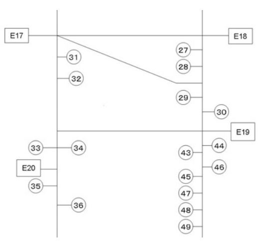

図 3: サンロード周辺

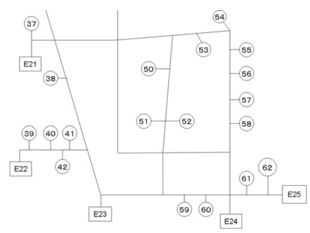

図 4: ミヤコ地下街周辺

図1から図4のモデルに前述のアルゴリズムを当てはめ計算すると下記の結果が得られる。

表 1: 各出口における避難人数(1)

秒	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10
〜20	0	0	0	42	16	8	0	0	0	8
〜30	0	0	0	60	40	40	0	0	0	40
〜40	0	0	0	60	40	40	0	0	0	12
〜50	0	0	0	60	24	2	0	0	20	0
〜60	0	0	0	60	0	0	0	0	40	0
〜70	0	0	32	60	0	0	0	0	40	0
〜80	0	0	40	48	0	0	0	0	40	0
〜90	0	0	28	0	0	0	0	0	40	0
〜100	70	60	0	0	0	0	0	0	40	0
〜110	100	100	0	0	0	0	0	0	30	0
〜120	100	80	0	0	0	0	0	0	0	0
〜130	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜140	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2: 各出口における避難人数(2)

秒	e11	e12	e13	e14	e15	e16	e17	e18	e19
〜20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜30	20	28	20	0	0	0	0	40	100
〜40	16	27	25	0	0	0	0	60	100
〜50	4	0	0	0	0	48	0	0	100
〜60	0	0	0	0	0	44	0	0	100
〜70	0	0	0	0	0	18	30	50	10
〜80	0	0	0	0	0	0	50	10	0
〜90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜110	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜130	0	0	0	0	0	0	0	0	0
〜140	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3: 各出口における避難人数(3)

秒	e20	e21	e22	e23	e24	e25
〜20	0	60	40	0	72	20
〜30	12	60	36	0	8	40
〜40	120	60	60	0	40	0
〜50	8	60	54	0	0	30
〜60	48	30	0	0	40	100
〜70	32	0	0	0	40	70
〜80	0	0	0	0	80	0
〜90	0	0	0	0	80	0
〜100	0	0	0	0	80	0
〜110	0	0	0	0	80	0
〜120	0	0	0	0	40	0
〜130	0	0	0	0	0	0
〜140	0	0	0	0	0	0

5 まとめ

ユニモールやテルミナ周辺においては通路も広く、出口も数多くあったりして他の箇所に比べて安全性が高いといえる。災害時には、壁や天井などが崩れ、出口が塞がれる可能性もあり得るので、このように予備の出口がみられるのは非常に重要と思われる。今後更に地下街の利用者が増えると考えられる状況なのでこれらの結果は好ましい。また、更なる安全性を追求するために、防火設備を考慮してモデル化して考えていきたい。

参考文献

[1] 高倉昌司：JR岐阜駅における避難の数理モデル, 南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文, 2005.

[2] 中野英治郎,斎藤友理：栄地下街における避難の数理モデル, 南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文, 2006.

[3] 伊理正夫,古林隆：ネットワーク理論, 日科技連, 1976.