

## 混雑緩和を考慮した最小所要時間の避難経路生成

大谷紀子研究室

1032077 萱原 謙

### 1. 研究の背景・目的

震災時は安全かつ速やかに建物外に避難する必要がある。しかし現在、東京都市大学横浜キャンパスには災害時の各場所や時期、時間に応じた避難経路図が存在しない。本研究では、災害時における各場所や時期、時間に応じた建物外への避難経路を生成する。本研究の目的は、東京都市大学横浜キャンパス 3, 4 号館にいる人全員が安全かつ速やかに避難できる経路を生成し、避難時の混雑を緩和することを目指す。

### 2. システム概要

一般的な避難経路は、出口までの移動距離、あるいは移動時間が最短となる経路である。しかし、混雑を避けられる経路ではないことが多い。混雑を最小限に抑えた経路を生成するために、混雑を避けることを優先し、全員の避難が終了するまでの時間が最短となるような経路をより良い避難経路と判断する。時期や時間によって各場所にいる人数が違うので、対象時期を授業・試験期間中と授業・試験期間外の平日、対象時間を授業中、昼休み、および放課後として、各時期、時間ごとに避難経路を作成する。各場所にいる人の数は、授業・試験期間の授業時間については過去の各講義における受講者数データから推測し使用する。授業・試験期間の昼休みについては食堂やカフェテリアの人数を多くし、他の時期・時間については研究室や学生室の人数を授業・試験期間の授業時間の人数よりも多くし、他の場所は少なくする。避難経路には非常用梯子、エレベータを使わず、階段を使うものとする。また、人のすれ違いをなくすために、本システムで生成される避難経路に対して、各場所での人の流れを一定方向に限定するルールと、複数の階段の使用を禁止するルールを設けた。常時人の少ない場所は、経路の候補を少なくするために複数の場所を 1 つにまとめる。授業・試験期間の昼休みに人が多くいる食堂やカフェテリアは複数のエリアに分割して扱う。また、FEIS ホールや 31A 教室、食堂、31E 環境実験・演習室、31F 教室については、一番近い出口以外から避難するとほかの場所からの避難者の邪魔になり、混雑する可能性がある。したがって前述の 5 箇所からの避難経路は一番近い出口から外に出る経路とする。さらに、複数の階段の使用を禁止するルールにより 7 階の避難経路は 1 通りのみである。したがって、他の避難経路を全探索で探索する。避難時は安全のために走らず、歩くものとする。人の歩く速度は周囲の人の密度によって変わる。自然流速度を  $V_f$ 、飽和密度を  $K_{jam}$ 、人の密度を  $K$  とすると、速度  $V$  は式(1)により算出される。

$$V = V_f \left( 1 - \frac{K}{K_{jam}} \right) \quad (1)$$

階段はフロアと同じく平面モデルとみなし、階段という場所を作成する。また、フロアと階段での歩く速度は違うので、自然流速度はフロアでは 1.0[m/s] とし、階段では 0.5[m/s] とする。本システムで

はリンクとノードを使用して東京都市大学横浜キャンパス 3, 4 号館を表現する. ノードごとに最大収容人数が決まっており, ノードの最大収容人数は待ち行列の最大の長さとなる. ノードは次のノードへのリンクを保持しており, 複数のリンクを保持しているノードもある. また, 出口のノードの次には終端ノードがある. 各場所を表すノードに人を配置して, 終端ノードまで移動させるシミュレーションによって, 全員が避難するまでの時間を求める. シミュレーションの単位時間は 1 秒である. ノード内に収容されている人は, ノードに到着した順に次のノードへの移動を開始し, 到着時刻に移動先ノードの待ち行列の最後尾に追加される. ただし, 移動させるのは, 次のノードの待ち行列の空き人数を, 同じノードへのリンクを保持しているノードの数で割った人数のみとする. 移動先ノードが終端ノードの場合, 到着した人は削除される. 以上の処理を繰り返し, 全ノードに人がいなくなったら終了とする. ノード  $i$  を出発してノード  $j$  に向かう  $A$  のノード  $j$  の到着時刻  $t_j^{arr}$  は, 式(2)によって計算される.

$$t_j^{arr} = t_i^{dep} + \frac{L_{ij}}{V_A} \quad (2)$$

$t_i^{dep}$  はノード  $i$  の出発時刻,  $L_{ij}$  はリンク  $L(i,j)$  のリンク長,  $V_A$  は  $A$  の歩く速度であり, 式(1)を使用して算出する. 全経路の探索を終えたら, 避難にかかる時間が最小の経路を最適解とする.

### 3. 結果の比較

本システムで作成された避難経路と最短距離の経路で避難したときの所要時間を比較したところ, 本システムで作成された避難経路の方がすべてのパターンで避難所要時間が短くなった. しかし, 授業・試験時間外の平日の授業中は約 4 秒, 昼休みは約 4 秒, 放課後は約 3 秒, 授業・試験期間中の放課後は 6 秒の短縮にとどまり, 避難経路を確認する時間を含めると, 最短距離の経路で避難したときの所要時間とほぼ変わらなくなる. 一方, 授業・試験期間中の授業中は約 28 秒, 昼休みは約 26 秒早くなり, 避難にかかる時間が大幅に短くなった. 得られた避難経路は, 互いに混雑を緩和するような経路となっている. 例えば, 授業・試験期間中の授業時間に 3619, 3620, 3621, 3622 の研究室, 学生室から避難する際の経路としては, 3 号館の真ん中にある一番狭い階段を使用して 1F まで下り, 3 号館の真ん中にある出口から屋外に出る経路が得られた. 一方, 同じ 6F からの避難経路でも, 3601, 3602, 3603, 3604 の研究室, 学生室からの避難経路は, 3 号館にある階段で一番広い階段から 1F まで下り, 31A 教室前の出口から屋外に出る避難経路となった.

### 4. 考察

今後の課題としては以下の 3 点が挙げられる. 第一に, 本システムでは人数配置を過去の各講義における受講者数データから推測し確定させていたが, もっと様々な場所に人を配置する, 廊下や階段をもっと小分けにして配置するなど, 多様な状況でシミュレーションを実行することにより, より良い避難経路が作成されると考えられる. 第二に, 複数のドアがある教室からの避難経路で, 異なるドアから廊下に出たときの出口までの移動距離の違いを考慮していない. 教室から出た人を次のノードの待ち行列に追加する際, ドアからノードのある地点までの移動時間を考慮することで, より正確なシミュレーションが可能となる. 第三に, 待ち行列ができたときに別の経路に変更するなどの人の行動パターンが考慮されていない. したがって, 指定された経路とは別の経路で避難する人もいるようにすることで, 人の行動パターンに近い動きでシミュレーションを行うことができる.