

平成28年度 卒業論文

災害時分散避難のための在室人数に応じた
避難ルートの構築手法

指導教員

舟橋 健司 准教授

伊藤 宏隆 助教

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

平成25年度入学 25115054番

木村 健

目次

第1章	はじめに	1
第2章	建物のモデル化	4
2.1	部屋	4
2.2	通路	4
2.3	階段	5
2.4	出入口	5
第3章	避難ルート構築	7
3.1	流出係数	7
3.2	提案手法の概要	7
3.3	ルートの構築	8
3.3.1	基礎ルートの構築	8
3.3.2	避難者の再分配	8
第4章	シミュレーションによる提案手法の評価	11
4.1	シミュレーション手順	11
4.2	シミュレーション概要	13
4.2.1	第1モデル	13
4.2.2	第2モデル	15
4.2.3	23号館のモデル	17
4.3	シミュレーション結果	19
4.3.1	第1モデル	19
4.3.2	第2モデル	20
4.3.3	23号館のモデル	20
4.4	結果の考察	21
第5章	むすび	22
	謝辞	23
	参考文献	24

第1章 はじめに

日本列島は地理的、地形的、気象的条件から地震や津波、台風などの自然災害が発生しやすい国土となっている。特に地震は、日本列島が4つのプレート上に存在するために、発生することが多く、2004年から2013年の間に世界中で発生したマグニチュード6.0を超える地震のうち18%が日本周辺で発生したものである[1]。世界でも稀な規模の巨大地震が発生する可能性もあり、2011年3月11日には、マグニチュード9.0の巨大地震によって、死者約16,000人、行方不明者約2,500人(2016年12月9日時点[2])という多数の犠牲者を出した、東日本大震災が発生した。

また、マグニチュード5.0以上6.0未満の比較的大きな地震も日本全土で一年間に平均100回以上発生している[3]。自然災害の中でも地震は、発生時の被害の大きさと発生頻度から、常日頃から避難訓練などの対策を行ったり、非常食などの準備を欠かさないようにするべきものであるといえる。実際に、小中学校では地震時の避難訓練が行われていたり、大学では地震に関係する様々な研究が行われている。

楊ら[4]は、災害の被害軽減のためには、構造物の新設や改修といった建物側の対策に加えて、防災意識の啓発、避難訓練といった人間側の防災対策を合わせて行う必要があるとし、鳥取大学を例に、マルチエージェントモデルを用いて、避難シミュレーションを行い、設備の局所的な改修による効果と、より上階の人間の避難を優先する避難計画の効果を検討した。その結果、避難に使用する廊下や階段に向かう人数を強制的に分散させることで階段における混雑の解消と、避難時間の短縮効果、またより上階の人間の避難を優先する方が、最終的な避難時間が短縮されることを報告した。また、濱村ら[5]は、災害時にネットワークが混雑することに加え、使い慣れていないシステムでは、災害時に活用できない人が多いという報告から、ネットワークが利用できない状況でも使用することのできる避難支援システムの利用可能性を検証し、ゲーミフィケーション機能が平常利用に役立つ可能性を示した。

また、地震に伴い、津波や火災などの二次災害は発生することもある。前述した東日本大震災では、地震によって発生した津波により、多くの家屋が流され、多数の犠牲者が発生した一因となった。1923年に発生した関東大震災では、地震による火災で、非常に多くの犠牲者を出した。これらも災害対策を考えるうえで、考慮する必要のあるものだといえる。

しかし、災害発生時の人間の行動に関する研究は数多く存在するが、災害時に人が避難するために使用する避難ルートを、状況に応じて変更する研究は少ない。

新居ら [6] は、ビル火災を例に、動的に推定したビル内の煙濃度を元に安全な避難ルートを決し、それを音声放送を用いて各避難者に伝えることで、避難群集を積極的に誘導する手法の有効性を示した。しかし、音声放送で伝えるのでは、切迫した状況において、避難者がそれを正確に聞き取り、実行できるかどうか不安が残る。

特に、学生の人数や授業を受ける教室が限定されている小中学校、高等学校に比べ、非常に多くの学生が、様々な教室で授業を受ける大学では、学生の所在の予測がつかず、事前に決められた避難ルートが災害時の避難ルートとして適していない可能性がある。

そこで本研究では、各講義の学生の出欠情報を基に学生の所在を予測し、災害状況に応じた大学校舎からの避難ルートを構築する手法の確立を目的とする。構築した避難ルートを、ネットワークを通じて、各学生に提示することができれば、学生が状況に応じた避難行動をとることができると考えられる。近年では、多くの大学生が携帯端末を所持しており、ネットワークが利用可能であれば、各学生に確実に情報を伝えられる可能性が高い。

避難ルートを構築する学生の出欠情報は、名古屋工業大学にて開発、運用されている、ICカードを用いた出欠システムから取得するものとする。これは各教室に備え付けられたICカードリーダーに学生証をかざすことで打刻を行い、打刻した時刻と打刻した教室の2つの情報（以下、これらを打刻情報と称す）をサーバーに保持するシステムである。学生は講義開始時と終了時に一度ずつ打刻を行い、教員はその打刻情報を出欠判定に利用することができる。本研究では、打刻情報を用いて、学生の所在を予測する。

本論文では、出欠システムを用いることにより、学生の所在が予測できるという前提のもとで、建物の各施設の情報のみを考慮した避難ルートを構築する手法について述べる。事前に建物を部屋、通路、階段、出入口の4つにモデル化し、モデル化した各種施設の情報および部屋に居る学生の人数から、避難ルートを構築する。

構築した避難ルートを、災害発生時に、避難者に迅速に伝達する必要があるため、避難ルートを構築するのにかかる時間を短くする必要があると考えられる。そこで、処理に時間がかからず、なおかつある程度避難時間が短いと考えられるルートを避難ルートの基礎として作成し、それに調整を加えたものを、最終的な避難ルートとした。基礎となるルートは、部屋から階段および出入口までの距離のみから構築する。その後、各階段または出入口に向かう人数を踏まえ、各階段、出入口を使用する人数が均等になるよう調整を加えたルートを、避難ルートとして提示する。

また、構築した避難ルートの有効性を検証するために、シミュレーションによる評価を行った。基礎として使用したルートと提案手法によって構築されたルートそれぞれを用いて、避難にかかった時間を比較した。モデルによって、避難時間が短い方が異なったため、提案手法の改善点について考察した。

以下、第2章では、ルート構築の手法に必要な建物のモデル化について述べ、第3章では、避難ルートを構築する手法について述べる。第4章では、構築された避難ルートの有効性を評価するために行ったシミュレーションとそのシミュレーション結果および考察に

ついて述べる。そして第5章では、本論文のまとめ、今後の課題について述べる。

第2章 建物のモデル化

本研究では、避難ルートを構築する建物を、部屋、通路、階段、出入口の4種類のみを持つ建築物とモデル化し、避難ルートの構築および評価シミュレーションに使用している。本章では、本研究における、4つのモデルの要素について記述する。

2.1 部屋

本研究では、授業時間中に学生が滞在している空間を部屋としてモデル化する。

提案手法は、部屋と階段または建物の出入口との距離から、その部屋の学生の向かう場所を仮に決める。そのうえで、出口に向かう人数に偏りがあれば、偏りが解消されるように学生の向かう場所を変更し、避難ルートを構築する。また、毎秒部屋から出ることのできる人数は、流出係数と部屋の扉の幅より求めることができる。そして、評価シミュレーションにて、部屋から通路への移動を表現する必要があるため、部屋の学生が最初に移動する通路区画を設定しておく必要がある。

以上より、部屋のモデルが持つ要素を以下の4つとした。

- 部屋に存在する人数
- 部屋の扉の幅
- 部屋と同じフロアに存在する階段または建物の出入り口との距離
- 部屋の扉を介して移動することのできる通路区画

本研究では、出欠システムから取得できる打刻情報を基に、各学生の居る教室を予測するため、避難開始時には、学生は必ず部屋モデルのいずれかに存在し、即座に避難行動を行うことができると仮定する。また、単純化のために、一つの部屋に扉は一つのみと定義し、同じ教室に2箇所以上扉が存在する場合は、扉の数だけ別々の部屋としてモデル化し、分割した部屋モデルそれぞれに教室に居る学生の人数をなるべく等しくなるように配分する。

2.2 通路

本研究では、避難の際に、建物の外に出るために人間が通る空間を通路としてモデル化する。単純化のため、通路モデルは直線となるように分割した通路をモデル化したもの

(以下、これを通路区画と称す)によって構成されるものとする。また、通路の幅は値としてのみ持ち、人間は通路に対して平行にのみ移動することとする。

通路区画

建物の各階の通路モデルは、通路区画によって構成されるものとする。これにより、角を曲がる、分岐点にて進路を変更するといったことが、通路区画を移動することによって表現できる。

通路区画は、避難ルートを構築するうえで用いるのではなく、4章で述べる、評価シミュレーションにて、学生モデルの移動の記録、各通路区画における流入人数の計算、および移動先の探索に使用するため、通路区画が持つ要素を以下の4つとした。

- 通路区画の幅，長さ
- 隣接する通路区画
- (存在する場合は) その通路区画内に存在する階段および出入口
- ある時刻にその通路区画内に存在する学生の数

2.3 階段

本研究では、2階以上に存在する人間が、下の階に降りるために使用する施設を階段としてモデル化する。ただし、エレベータは含めない。

流出係数より、1秒間に階段を通過することのできる人数は、階段の幅に比例するため、提案手法では、これを人数分配の際の指標として使用する。また、1階には、階段より降りてきた避難者の流入があるため、1階のみ、階段についても、部屋と同様の処理を行い、階段から出入口までの避難ルートを構築する必要がある。

以上より、階段のモデルが持つ要素を以下の2つとした。

- 階段の幅，長さ
- (1階のみ) 階段と建物の各出入口との距離

2.4 出入口

本研究では、避難ルートを構築する建物の外へ出ることのできる扉、自動ドアのことを出入口としてモデル化する。

出入口に関しても、階段と同様に、1秒間に通過することのできる人数が、出入口の開口幅に比例するため、提案手法にて、人数分配の指標として使用する。よって、出入口のモデルが持つ要素を以下の1つとした。

- 出入口開放時に，一秒間に通行することのできる人数（以下，これを出入口の幅と称す）

避難ルートを構築するために，事前に建物の図面から，上記に沿って，建物の施設をそれぞれモデル化し，避難ルートの構築に使用する．

第3章 避難ルート構築

本章では，第2章で述べたモデル化手法に沿って，モデル化した建物と，学生の所在から，その建物の避難ルートを構築する手法および手法に使用する考え方について述べる。

3.1 流出係数

流出係数とは，1m幅の領域を1秒間に通り抜けることのできる人数を表したものである．文献[8][9]では，シミュレーションの結果より，流出係数は，人間が通過する領域の形状や，衝突を避けるために発生する歩行速度の減少といった影響により，変動することが報告されているが，計算の簡略化のため，本論文では，通路での流出係数を1.5〔人/ms〕，階段での流出係数を1.3〔人/ms〕とし，変動を考慮しないこととした。

3.2 提案手法の概要

単純な方法で決められた避難ルートや，事前に決められた避難ルートでは，ある階段または出入口には人が集中し，別の階段または出入口には人がほとんど来ないという状況になる可能性が想定される．しかし，階段または出入口を単位時間ごとに通過することができる人数は，階段または出入口に流入する人数よりも少ないことが多く，人間が集中することで，渋滞が発生し，かえって避難時間が長くなってしまふことがある．例えば，すべての避難者が自分の居る場所から最も近い階段または出入口を使用して避難するという方法は，建物内に均等に人間が存在していれば，迅速な避難が実現できるが，ある階段または出入口に近い人間が多い状況であると，階段または出入口付近にて渋滞が発生してしまふ．このとき，使われない階段または出入口を減らし，単位時間ごとに通過する人数を増やすことで，渋滞を緩和し，避難時間を短くすることができると考えられる。

また，災害がいつ起こるのかがわからないことに加えて，時間帯に応じて変動する学生の人数によって，適切な避難ルートが変わるため，ルートの構築に必要な時間をなるべく短くする必要があると考えられる。

そこで，ルートの構築に時間のかからない手法を用いて，一度ある程度避難時間が短いと考えられるルートを考え，そのうえで状況に応じて，向かう階段または出入口の変更や，各階段または出入口に向かう人数の調整を行えば，臨機応変でなおかつ単純な避難ルートよりも素早い避難が行えるルートを構築できないかと考えた。

本研究では、避難者全員を最も近い階段または出入口に避難させた場合の避難ルート（以下、基礎ルートと称す）に、状況に応じた避難者の再分配を行う手法を提案する。

3.3 ルートの構築

本手法では、ルートの構築に時間のかからない手法として、避難者全員が最も近い階段または出入口に向かうという方法を採用した。これは、避難する場合、ほぼ必ず階段または出入口がネックとなり、付近に渋滞が発生してしまうため、できるだけ通路を歩く時間を短くした方が、最終的な避難時間が短くなると思ったためである。ただし、これは各階段または出入口を使用する人数が均一に近い場合のみであるため、必要に応じて避難者の再分配を行い、多くの状況において、迅速な避難が可能なルートを構築する。

本手法では、最上階から順に、その階の基礎ルートを構築し、その基礎ルートに避難者の再分配が必要であれば、次の階の処理を行う前に、避難ルートの変更を行う。これは、ルートの変更を行う場合、その階の各階段に降りてくる、その階よりも上の階の避難者の流入を考慮するためである。

3.3.1 基礎ルートの構築

基礎ルートは、避難者の存在する部屋と、階段または出入口との距離のみを基に構築する。

2階以上の階では、避難者が存在するすべての部屋について、部屋と同じ階に存在するすべての階段の中で、最も部屋に近い階段をその部屋の避難者全員の避難先とし、基礎ルートを構築する。

出入口が存在する1階では、1階への、2階以上から階段を使って降りてきた人間の流入があるので、1階のみ、階段についても部屋と同様に、1階のすべての出入口との間の距離を求め、そのなかで最も近い出入口を避難先とし、1階の基礎ルートを構築する。

3.3.2 避難者の再分配

避難者の再分配は、必要であれば、各階の基礎ルート構築直後に行う。再分配が必要となる条件について、2階以上の場合と1階の場合に分けて説明する。

2階以上の場合

基礎ルートを構築した後、フロア内に存在するすべての階段 K について、上の階から降りてくる学生の人数を、その階段に向かう人数と合計する。このときの合計人数を P_K とする。

流出係数より、1秒間に階段のある地点を通過できる人数は、階段の幅に比例するため、幅が広い階段であるほど、一度に通過できる人数が多い。よって、階段の幅に応じて、その階段に向かう避難者の人数を調整すれば、人数をすべての階段に均等に分配する場合よりも、避難にかかる時間が短くなると考えた。そこで、同フロアに存在する階段 A と B について、この2つの階段の人数の比が、階段の幅の比と等しくなるように人数を調整する。

式 3.1 を用いて、それぞれの階段に向かう人数を調整するために、行先を変更する必要のある人数 n を求める。なお、 w_A 、 w_B は階段 A、B の幅とする。

$$n = \left| \frac{w_B \times P_A - w_A \times P_B}{w_A + w_B} \right| \quad (3.1)$$

次に、避難者の再分配を行う必要があるか判定する。

階段 A に向かう避難者の人数が、A の適切な人数よりも多く、再分配する可能性がある場合は、階段 A にそのフロアの階段 A に向かう避難者がいる部屋のなかから、最も階段 A より遠い部屋 F_A を探す。部屋 F_A から階段 A までの距離 $D_A(F_A)$ と、部屋 F_A から階段 B までの距離 $D_B(F_A)$ との差を $Dist$ とする (式 3.2)。

$$Dist = D_A(F_A) - D_B(F_A) \quad (3.2)$$

ここで、 $Dist$ は、ある部屋の避難者が、向かう階段または出入口を変更することで、余分に移動する必要のある距離であるといえる。よって、 $Dist$ を n で割ることによって求められる値 T は、向かう階段または出入口を変更する人間一人あたり、避難者を余分に移動させる必要のある距離といえる (式 3.3)。

$$T = \frac{Dist}{n} \quad (3.3)$$

建物から避難する人数が多い場合は、狭所で発生する渋滞が、避難にかかる時間に与える影響も大きい。よって、避難者を遠回りさせ、渋滞を緩和することができれば、遠回りすることで増えてしまう避難時間よりも、より大きい避難時間の短縮効果を得ることができると考えられる。しかし、建物から避難する人数が少ない場合は、渋滞を緩和することで短縮される避難時間よりも、遠回りにかかる時間の方が長くなり、かえって避難時間が長くなってしまう可能性が考えられる。

そこで、余分に移動する必要のある距離が一定以下だった場合にのみ、再分配を行うこととした。ただし、再分配することによって、行先が変更となる避難者が多いほど、より大きい避難時間の短縮効果が見込めると考えられるので、本論文では、向かう階段または出入口を変更する人間一人あたり、避難者を余分に移動させる必要のある距離 T が一定以下であれば、再分配を行うこととした。

T が閾値以下であれば、変更した方が避難時間が短くなると判定し、部屋 F_A に居る、階段 A に向かう学生 n 人の行先を階段 B に変更する。部屋 F_A の、階段 A に向かう学生の人数が n に満たない場合、部屋 F_A の次に階段 A から遠い部屋 F'_A について、再度 $n, Dist, T$ を計算し、 T の判定を行う。 F'_A が存在しない場合は、その時点で、A と B の間の学生の人数の調整を終了する。

階段 B の避難者を再分配する可能性がある場合は、上記の手順を A と B を逆にして行う。以上を、フロア内に存在する階段の組み合わせすべてに対して行う。

1 階の場合

1 階に存在する出入口 A, B について、この 2 つの出入口に向かう人数の比が、2 つの出入口の幅の比と等しくなるように、式 3.1 を用いて、 n を求める。ただし、 P_A, P_B は出入口 A, B に向かう人数、 w_A, w_B は出入口の幅とする。

以降、2 階以上の場合と同様に、 $Dist, T$ の計算を行い、 T を判定する。ただし、最も出入口から遠い部屋を探すのではなく、最も出入口から遠い部屋または階段を探すこととする。

以上を、出入口の組み合わせすべてに対して行う。

避難者の再分配は、すべての階の、すべての階段または出入口の組み合わせに対して、向かう学生の人数の変更が行われなくなるまで繰り返す。

最終的に、繰り返しが終了した時点のルートを、避難ルートとして提示する。

第4章 シミュレーションによる提案手法の評価

第3章で述べた提案手法によって構築された避難ルートを，基礎ルートとともに評価シミュレーションを行い，提案手法の有効性を検証した。

いくつか用意したモデルから構築された避難ルートを用いて，簡易的なシミュレーションを行い，避難終了までにかかった時間を求め，比較する。

4.1 シミュレーション手順

シミュレーションは以下の手順で行う。なお，計算の簡略化のため，このシミュレーションでは，渋滞が発生する場合に起こると考えられる，人の歩行速度の低下および方向転換する際に発生する速度低下 [10] は無視する。また，学生モデルの生成，学生モデルの移動は1秒に1回，行われるものとする。

1. 避難する学生の居る部屋に，学生の人数分，学生モデルを生成する。
2. 生成した学生モデルを構築された避難ルートに沿って，その階の階段または出入口まで移動させる。このとき，時刻 t の時点で，避難ルート上のどの通路区画に存在するかを合わせて記録する。
3. 以上を建物内すべての避難する学生の居る部屋に対して行う。このとき時刻 t において，ある通路区画に存在する人数が，その地点の人数の上限を超えている場合，渋滞が発生しているとみなし，上限を超えた分の人数を時刻 $t+1$ に繰越す。
4. (2階以上のみ) 各階段にたどりついた人を一つ下の階に移動させる。3.と同様に，時刻 t に階段のある地点を移動中の人数が，その地点の上限を超えている場合，上限を超えた分の人数を時刻 $t+1$ に繰越す。
5. 4.をすべての階段に流入した人が1階にたどりつくまで行う。
6. 階段を通じて，1階にたどり着いた人を構築された避難ルートに沿って，1階の出入口まで移動させる。このときも同様に上限を超えた場合，繰り越しが発生する。
7. すべての人が避難し終わるまでにかかった時間を求める。

以下に，各手順の説明をする。

1. 学生モデルの生成

始めに、部屋モデルの学生の人数の分、学生モデルを生成する。これにより、学生が教室から出て、移動を開始したことを表現する。

学生モデルは、シミュレーションの開始とともに生成が開始される。式4.1より、時刻 t に生成される学生モデルの数 $x(t)$ を計算する。なお、 N は通路における流出係数、 w は部屋の出入口の幅（単位：m）である。

$$x(t) = N \times w \quad (4.1)$$

2. 階段または出入口への移動

このシミュレーションにおいて、学生モデルは構築した避難ルートに沿って、通路を移動する。

時刻 t に、部屋 R にて生成された学生モデルは、通路区画 A に時刻 $t+s$ に進入する。よって、 $P_{fA}(t+s)$ に、 $x(t)$ を加えることで、学生モデルが通路区画 A に移動したことを表し、学生モデルの位置を記録する。なお、 $P_{fA}(t)$ は、 f 階の通路区画 A に、時刻 t に進入する学生モデルすべての数、 s は部屋 R から通路区画 A までの移動にかかる時間である。

このとき、渋滞が発生する可能性があるため、毎秒通路区画 A を通り抜けることのできる人数に上限を設定する。式4.2に上限の計算式を示す。なお、 N は通路における流出係数、 W はその通路区画の幅である。

$$l = N \times W \quad (4.2)$$

$P_{fA}(t)$ がこの上限値を超えた場合は、超えた分を $P_{fA}(t+1)$ に繰り越す。

以上を、すべての部屋 R にて生成された学生モデルが、目的の階段または出入口に辿り着くまで繰り返す。

4. 階下への移動

2階よりも上の階に存在する学生は、1階に到達するために、階段を下りる必要がある。一つ下の階に降りるためにかかる時間 d は、階段の長さ、階段通行時の歩行速度より求めることができる。なお、本研究における階段の長さは、人間が階段を用いて一つ下の階に降りる際に、水平方向に移動する距離と定義する。また、階段を移動している人間の歩行速度は一定とする。

求めた d を用いて、2.と同様に、階下へ移動した学生モデルが、いつ、何人階下に到達したのかを記録する。

時刻 t に階 f の階段 k に存在する学生モデルの数を $P_{fk}(t)$ とする。時刻 t に階 f の階段 k に存在する学生モデルは、時刻 $t+d$ に階 $f-1$ の階段 k に到達するので、 $P_{(f-1)k}(t+d)$ に

$P_{fk}(t)$ を加えることで、学生モデルが階f-1に移動したことを表し、学生モデルの位置を記録したこととする。

6. 階段で降りてきた学生モデルの移動

階段で降りてきた学生を1階の出入口へ移動させる。このとき、1階に存在するすべての階段について、2.と同様の処理を、部屋を階段と置き換えて行う。ただし、時刻tに部屋Rで生成された学生モデルの数 $x(t)$ の代わりに、階段kから1階に進入する学生モデルの数 $P_{1k}(t)$ を用いるものとする。

7. 避難時間

建物内に存在するすべての学生モデルが、1階の出入口のいずれかに到達した時刻を避難時間とする。

4.2 シミュレーション概要

提案手法によって構築した避難ルートの有効性を検証するため、以上の手順に従って、評価シミュレーションを行った。なお、今回の評価シミュレーションでは、通路での歩行速度を、1000 [mm/s]、階段での歩行速度を500 [mm/s]とし、再分配を行うかどうか判定する条件に用いる T の閾値を、1000 [mm]として、提案手法による避難ルートの構築を行った。

評価シミュレーションで用いた、建物のモデル3つのうち、2つは架空の建物をモデル化したもの、1つは名古屋工業大学の23号館（以下、23号館と称す）を元に、火曜日の11時を想定し、モデル化したものである。すべてのモデルの各教室に存在する学生の人数は、適当に設定したものであるが、23号館のモデルの各教室に存在する学生の人数は、平成28年度の名古屋工業大学の授業計画に基づき、なるべく現実のその時刻に居ると想定される、学生の人数に近くなるよう調節した人数とした。

以下、各モデルの環境について説明する。図4.1から図4.7は、モデル化するにあたって、作成した各建物の地図である。なお、23号館のモデルの地図以外は、学生が存在している部屋のみ、地図に記載した。線で囲まれた領域から別の領域へ移動できるのは、点線部を介してのみであり、各部屋の境界に存在する点線部は、その部屋の出入口を表しているものとする。また、距離の単位はすべてミリメートルとする。

4.2.1 第1モデル

中央に十字路がある二階建ての建物を想定し、モデル化した。図4.1、4.2は、第1モデルの地図である。

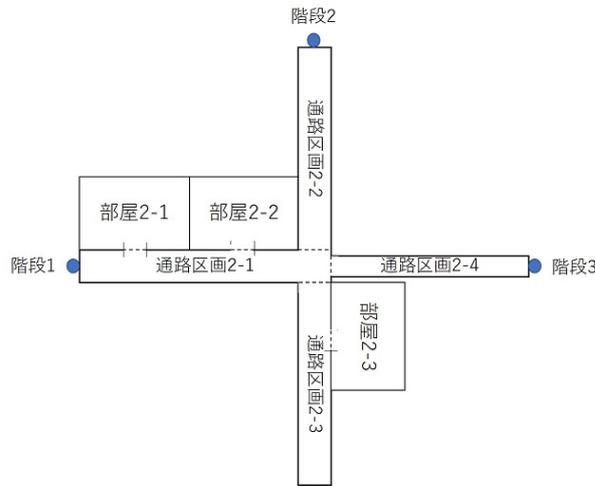


図 4.1: 第1モデル2階

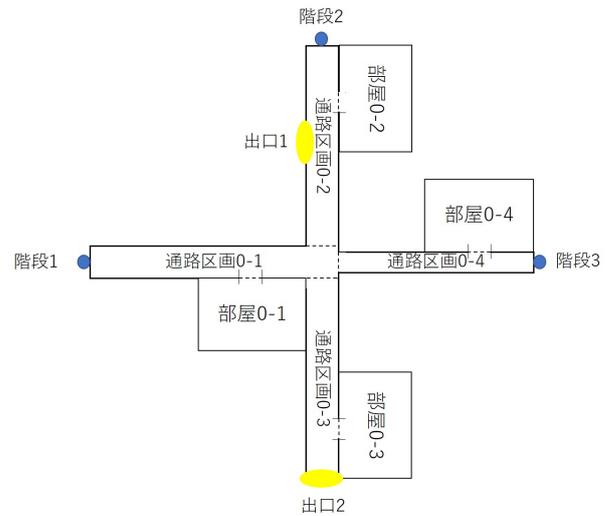


図 4.2: 第1モデル1階

このモデルでシミュレーションを行うことで、人間を遠回りさせ、階段または出入口の混雑を緩和することで、避難時間を短縮することができるか、検証した。

第1モデルについて、共通する要素を以下に示す。

通路区画の幅 2200 [mm]

狭い通路区画の幅 1600 [mm]

扉の幅 800 [mm]

階段の幅 1000 [mm]

階段の長さ 10000 [mm]

2階

階段または出入口となる階段を3箇所、避難する学生の居る教室を3箇所とした。

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を、表 4.1 に示す。

表 4.1: 第1モデル, 2階の学生の人数と部屋からの距離

	人数	階段 1	階段 2	階段 3
部屋 2-1	50	5900	34700	36900
部屋 2-2	50	15500	25100	27300
部屋 2-3	100	27300	27300	25100

表 4.2: 第1モデル, 1階の学生の人数と部屋および階段からの距離

	人数	出口 1	出口 2
部屋 1-1	50	7000	36900
部屋 1-2	50	16600	25100
部屋 1-3	100	28400	5900
部屋 1-4	30	26500	36600
階段 1		29900	40600
階段 2		10700	40600
階段 3		32100	40600

1階

1階には階段または出入口となる出入口を2箇所, 避難する学生の居る教室を4箇所, 階段を3箇所とした.

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を, 表 4.2 に示す.

4.2.2 第2モデル

名古屋工業大学の52号館を参考に, 2階建ての建物を想定し, モデル化した. 図 4.3, 4.4 は第2モデルの地図である.

第2モデルでは, 階段の幅が違う場合に, 避難時間にどのような影響を与えるかを検証した. 通路に曲がり角が1箇所存在し, 分岐は存在しない.

第2モデルについて, 共通する要素を以下に示す.

通路区画の幅 2400 [mm]

部屋の扉の幅 800 [mm]

階段の長さ 10000 [mm]

出入口の幅 2400 [mm]

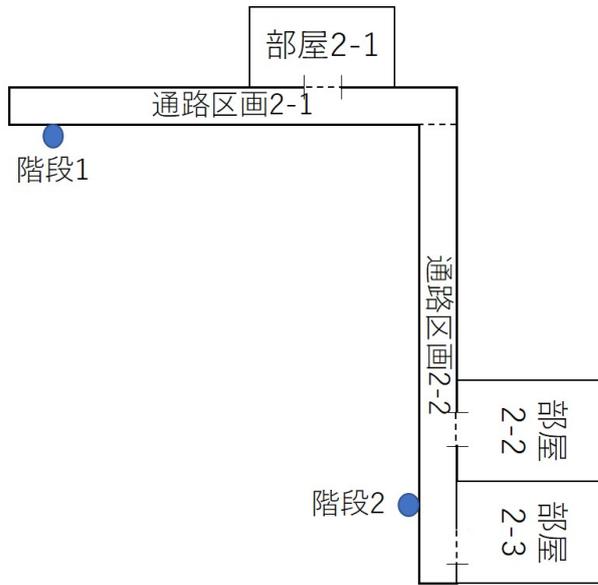


図 4.3: 第2モデル2階

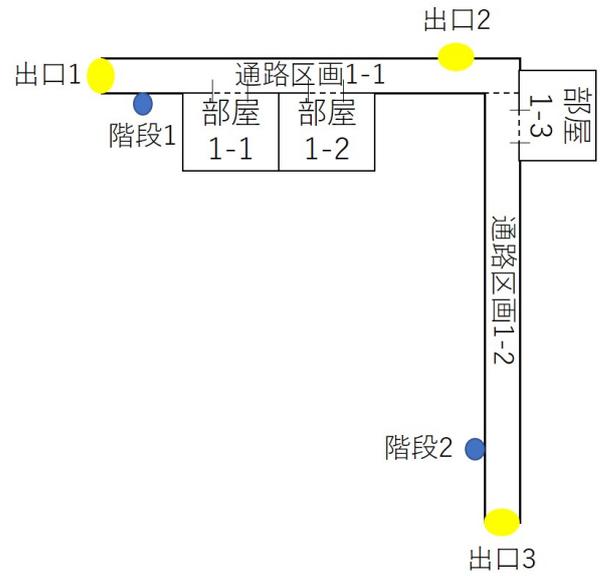


図 4.4: 第2モデル1階

表 4.3: 第2モデル, 2階の学生の人数と部屋からの距離

	人数	階段1	階段2
部屋 2-1	80	35600	48700
部屋 2-2	60	76900	7400
部屋 2-3	60	86900	7400

2階

階段または出入口となる階段を2箇所、避難する学生の居る教室を3箇所とした。

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を、表 4.3 に示す。

1階

1階には階段または出入口となる出入口を3箇所、避難する学生の居る教室を3箇所、階段を2箇所とした。

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を、表 4.4 に示す。

4.2.3 23号館のモデル

23号館を元に、後期日程（10月から3月）のある火曜日の3, 4限の講義を行っている時間帯を想定し、建物をモデル化した。これにより、シミュレーション上ではあるが、現

表 4.4: 第2モデル, 1階の学生の人数と部屋および階段からの距離

	人数	出口 1	出口 2	出口 3
部屋 1-1	150	10800	28800	79800
部屋 1-2	50	20400	19200	70200
部屋 1-3	20	45000	10200	50400
階段 1		3600	36000	87000
階段 2		83100	48300	7500

実に近い状況で、提案手法を用いた場合に、避難時間にどのような変化が起こるかを検証する。

図 4.5, 4.6, 4.7 はモデル化のために作成した、23号館の簡略化した地図である。なお、モデルとなった23号館は4階建ての建物であるが、想定した時間帯に、4階の教室を使う講義がなかったため、割愛する。

3階

3階には、教室が2箇所、階段が1箇所ある。23号館には3階にもう一つ階段が存在するが、通路から直接行くことができず、再分配が行われた場合に、避難時間が長くなる可能性があるため、考慮しないこととした。

そのため、部屋 3-1 の学生 55 人は、全員階段 1 に向かう。

2階

2階には、教室が2箇所、階段が2箇所ある。2箇所の部屋のうち、部屋 2-1 には、部屋の出入口が3つあるため、モデル化した際に、各部屋モデルの出入口が1つのみとなるよう、部屋を分割し、別々の部屋としてモデル化する。以降、図 4.6 に記されている、部屋 2-1 の扉の上から順に、部屋 2-1a, 部屋 2-1b, 部屋 2-1c と称す。

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を、表 4.5 に示す。

表 4.5: 23号館のモデル, 2階の学生の人数と部屋からの距離

	人数	階段 1	階段 2
部屋 2-1a	23	9605	19665
部屋 2-1b	23	14345	14225
部屋 2-1c	24	23345	7625
部屋 2-2	0	8795	24515

表 4.6: 23 号館のモデル, 1 階の学生の人数と部屋および階段からの距離

	人数	出口 1	出口 2	出口 3
部屋 1-1a	150	9400	19300	12200
部屋 1-1b	50	19300	9400	2300
部屋 1-2	20	9960	19860	26840
階段 1		4935	14835	18045
階段 2		16475	6575	2325

1 階

23 号館の 1 階は, 教室の扉以外に屋内と屋外を区切る扉がないため, 館内と館外の境界線を出入口としてモデル化した. そのため, 教室が 2 箇所, 階段が 2 箇所, 出入口が 3 箇所ある. 1 階の部屋 1-1 には, 2 つの出入口があるため, 別々にモデル化し, 以降, 部屋 1-1a, 1-1b と称す.

各教室に存在する学生の人数および教室から階段または出入口までの距離を, 表 4.6 に示す.

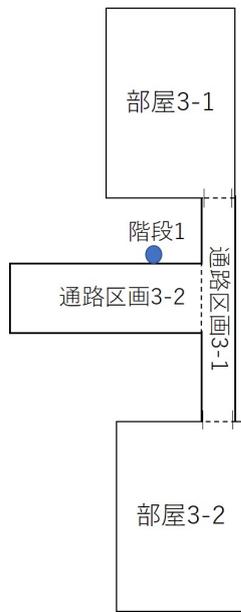


図 4.5: 23号館のモデル3階

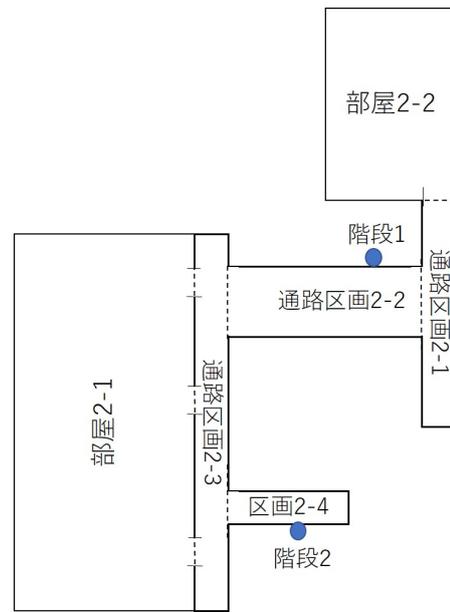


図 4.6: 23号館のモデル2階

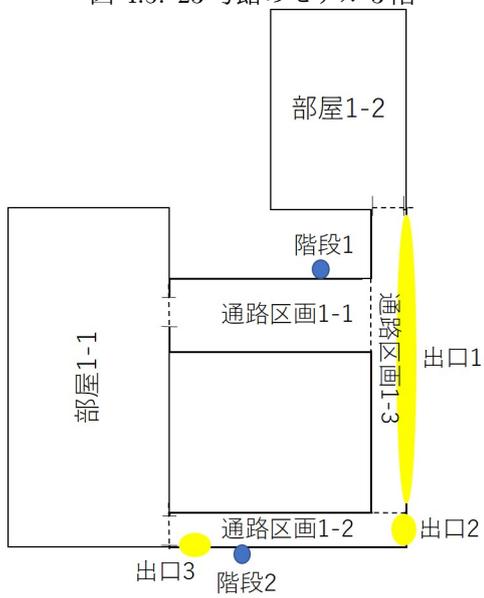


図 4.7: 23号館のモデル1階

4.3 シミュレーション結果

以上の3つのモデルに対して、提案手法を用いて構築した避難ルートと、基礎ルートそれぞれを用いた際に、各部屋の学生がどの階段または出入口に、何人向かうか、また避難にかかる時間を記す。

4.3.1 第1モデル

提案手法を用いた場合と、基礎ルートを用いた場合の、各部屋の学生がどの階段または出入口に何人向かうかを表4.7, 4.8に示す。

提案手法を用いた場合に避難にかかった時間は136 [s]，基礎ルートを用いた場合に避難にかかった時間は146 [s]となり，提案手法を用いた場合の方が避難にかかる時間が短いという結果となった。

表 4.7: 第1モデル, 2階の各部屋から階段へ向かう人数

	提案手法			基礎ルート		
	階段1	階段2	階段3	階段1	階段2	階段3
部屋 2-1	50	0	0	50	0	0
部屋 2-2	0	50	0	50	0	0
部屋 2-3	16	17	67	0	0	100
合計人数	66	67	67	100	0	100

表 4.8: 第1モデル, 1階の部屋および階段から出入口へ向かう人数

	提案手法		基礎ルート	
	出口1	出口2	出口1	出口2
部屋 1-1	50	0	50	0
部屋 1-2	50	0	50	0
部屋 1-3	0	100	0	100
部屋 1-4	30	0	30	0
階段1	18	48	100	0
階段2	67	0	0	0
階段3	0	67	100	0
合計人数	215	215	330	100

表 4.9: 第2モデル, 2階の各部屋から階段へ向かう人数

	提案手法〔人〕		基礎ルート〔人〕	
	階段1	階段2	階段1	階段2
部屋 2-1	80	0	80	0
部屋 2-2	0	60	0	60
部屋 2-3	0	60	0	60
合計人数	80	120	80	120

表 4.10: 第2モデル, 1階の部屋および階段から出入口へ向かう人数

	提案手法〔人〕			基礎ルート〔人〕		
	出口1	出口2	出口3	出口1	出口2	出口3
部屋 1-1	70	80	0	150	0	0
部屋 1-2	0	50	0	0	50	0
部屋 1-3	0	20	0	0	20	0
階段1	80	0	0	80	0	0
階段2	0	0	120	0	0	120
合計人数	150	150	120	230	70	120

4.3.2 第2モデル

提案手法を用いた場合と、基礎ルートを用いた場合の、各部屋の学生がどの階段または出入口に何人向かうかを表 4.9, 4.10 に示す。

提案手法を用いた場合に避難にかかった時間は 145 [s] , 基礎ルートを用いた場合に避難にかかった時間は 132 [s] となり、基礎ルートをそのまま用いた場合の方が避難にかかる時間が短いという結果となった。

4.3.3 23号館のモデル

提案手法を用いた場合と、基礎ルートを用いた場合の、各部屋の学生がどの階段または出入口に何人向かうかを表 4.11, 4.12 に示す。なお、3階には、階段が1箇所しかないのので、どちらの場合でも、部屋 3-1 の避難者 55 人は階段 1 へ向かう。

提案手法を用いた場合に避難にかかった時間は 81 [s] , 基礎ルートを用いた場合に避難にかかった時間は 59 [s] となり、基礎ルートをそのまま用いた場合の方が避難にかかる時間が短いという結果となった。

表 4.11: 23 号館のモデル, 2 階の各部屋から階段へ向かう人数

	提案手法 [人]		基礎ルート [人]	
	階段 1	階段 2	階段 1	階段 2
部屋 2-1a	10	13	23	0
部屋 2-1b	0	23	0	23
部屋 2-1c	0	24	0	24
合計人数	10	60	23	47

表 4.12: 23 号館のモデル, 1 階の部屋および階段から出入口へ向かう人数

	提案手法 [人]			基礎ルート [人]		
	出口 1	出口 2	出口 3	出口 1	出口 2	出口 3
部屋 1-1a	60	0	0	60	0	0
部屋 1-1b	18	8	34	0	0	60
部屋 1-2	43	17	0	60	0	0
階段 1	65	0	0	78	0	0
階段 2	60	0	0	0	0	47
合計人数	246	25	34	198	0	107

4.4 結果の考察

シミュレーション結果より, 得られた各モデルにおいて, 提案手法より, 構築した避難ルートを用いた場合と, 基礎ルートを用いた場合に, 避難にかかった時間を表 4.13 に示す.

提案手法を用いて, 階段や出入口への人の集中を緩和し, 利用していない階段や出入口を少なくすることで, かえって避難時間が増大してしまうケースが見られた. これは, 避難者の再分配を行うか判定する条件式が不適切であり, 再分配によって短縮できる避難時間よりも, 遠回りすることで余計にかかってしまう時間の方が長いためであると考えられる. 今回のシミュレーションでは, 閾値に定数を使用した. しかし, 余計にかかる時間の方が長くなるかどうかは, 再分配を行わなかった場合の避難時間に左右されるので, 定数ではなく, 関数を用いて, その状況に適切な閾値を計算する必要があると考えられる.

表 4.13: 避難にかかった時間

	提案手法 [s]	基礎ルート [s]
第 1 モデル	136	146
第 2 モデル	145	132
23 号館のモデル	81	59

第5章 むすび

本論文では、出欠システムから得られる情報から、学生の位置が予測できるという前提で、建物の施設の情報と学生の人数のみから、避難ルートを構築する手法を提案した。シミュレーションの結果より、提案手法を用いることで、かえって避難時間がかかってしまうケースが存在した。これは、再分配の条件の閾値を、定数としたことによるものだと考えられる。よって、今後の課題としてまず始めに、適切な閾値の算出方法の構築を行いたい。

また、本論文では、計算の簡略化のために、いくつか考慮していない事柄が存在する。しかし、実際に避難する際には、様々な要因によって、避難時間が増える。すべてを考慮することは、処理時間を考えると難しいが、歩行速度の低下など、避難時間に与える影響が大きいと予想されるものに関しては、考慮する必要があると思われる。

ほかにも、提案手法では、最も近い出口に向かうことを基本的な考え方としていたが、よりふさわしい考え方がある可能性もある。実際に、人間の手で避難ルートを決めるにあたって、何を重要視するのも、参考としたい。

評価シミュレーションに関しても、より正確な結果が出るよう、改良を行っていきたい。結果をわかりやすく見ることができ、マルチエージェントシステムを評価シミュレーションとして導入することも、現在視野に入れている。

そして、研究目的を達成するため、避難ルートを構築するうえで、災害状況をどのように考慮し、避難ルートに反映するのも、考えていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって，日頃から多大な御尽力を頂き，ご指導を賜りました名古屋工業大学，舟橋健司 准教授，伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。

また，本研究に多大な御協力頂きました舟橋研究室諸氏に心から感謝致します。

参考文献

- [1] 内閣府, ”日本の災害対策,”
http://www.bousai.go.jp/1info/pdf/saigaipamphlet_je.pdf, Mar. 2015.
- [2] 警察庁, ”平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置,”
<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf>, Dec. 2016.
- [3] 気象庁, ”よくある質問集 地震について,”
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/faq/faq7.html>
- [4] 楊勇, 達川剛, 松見吉晴, 太田隆夫, ”キャンパスにおける安全・安心な避難誘導対策に関する数値的検証実験,” 土木学会論文集F6(安全問題), Vol.69, No.2, pp.1.7-1.12, 2013.
- [5] 濱村朱里, 福島拓, 吉野孝, 江種伸之, ”日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム”あかりマップ”の実環境における利用可能性,” 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.319-330, Jan. 2016.
- [6] 新居康彦, 渡辺良信, 吉田登美男, ”方位コードを用いたルート決定アルゴリズムによる積極誘導ビル避難シミュレーション,” シミュレーション, Vol.17, No.2, pp.50-56, Jun. 1998.
- [7] ジョン・J・フルーイン, 長島正充(訳), ”歩行者の空間:理論とデザイン,” (株)鹿島出版社, 東京, 1974.
- [8] 峯岸良和, 吉田克之, 竹市尚広, 佐野友紀, 林田和人, 木村謙, 渡辺仁史, ”歩行者シミュレーションシステム SimTread の基本性能 ー開口の流出先における歩行性状を航路した流動係数の考察ー,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.961-962, Aug. 2007.
- [9] 木村謙, 佐野友紀, 林田和人, 竹市尚広, 峯岸良和, 吉田克之, 渡辺仁史, ”マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現 ー歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築ー,” 日本建築学会計画系論文集, Vol.74, No.636, pp.371-377, Feb. 2009.

- [10] 岡崎甚幸, 松下聡, ”避難計算のための群集歩行シミュレーションモデルの研究とそれによる避難安全性の評価,” 日本建築学会計画系論文報告集, No.436, pp.49-58, Jun. 1992.