

地震注意報発令時における 南山大学名古屋キャンパスの避難モデル — 地下鉄の混雑度を考慮して —

2004MM067 佐藤一臣

2004MM082 富田亮一

指導教員: 伏見正則

1 はじめに

近年、東海地方では大地震が発生するとの予測がされており、そのため地震がおこりうるとされる地域では地震対策が講じられている。また震災で被害を最小限に抑えるためには、建物自体の強化以外に避難経路を十分に練り、建物内にいる人がより効率よく、より安全に避難できることが重要になってくる。

発生する確率の高い東海地震に関する情報として、「東海地震観測情報」、「東海地震注意情報」、「東海地震予知情報」の3種類があり、地震発生の危険度が高まるにつれ、順に発表されていく。そして「東海地震注意情報」が発表された時点で、児童・学生の避難を促す措置が開始される。

本論文では、南山大学名古屋キャンパスとその周辺の地下鉄駅を対象にシミュレーションを行い、全学生が地下鉄に乗りして避難することを目的とし、駅で最後に避難する学生における地下鉄への乗車時間の最小化とその場合に避難においてどのような問題が起こりえるかを考察したい。

2 対象のエリア

2.1 南山大学名古屋キャンパス

名古屋キャンパスには敷地内の中央に校外へ通じるメインストリートがあり、そこにいくつもの棟が隣接している。避難時には棟から大勢の学生がメインストリートに流れ込んで来てしまい、混雑することが予想される。

今回は、学生が地下鉄で避難することを主な目的とするので、棟内のモデルは考えないものとする。またキャンパス内から避難する際に使用する出口は、「正門」、「西門」、「北門」、そして新校舎側の出口として使用する「山手門」の4箇所とする。

2.2 地下鉄駅

名古屋キャンパスの周辺には、地下鉄3駅（名古屋大学駅、八事日赤駅、いりなか駅）が存在する。注意報発令時には、周辺の学生も駅に避難してくるので、名古屋大学駅、いりなか駅では、特に混雑が予想される。

2.3 一般道

大学外の一般道では周辺住人や自動車が移動するため、危険回避のため片道の一般歩道のみを使用し、周辺住人、自動車の通過できるスペースを確保する。

3 避難モデルの作成

対象のエリア内には通路、道路、門、地下鉄入口等があり、避難する際はこれらを使用するため、人が移動する際に流れが発生し、この流れを用いることで避難方式をネットワーク問題として扱うこととする。

今回は大学およびその周辺のモデルであり、避難する学生は同じ場所を何度も訪れており、大学内の施設は知り尽くしているものとし、また大学内や一般道での曲がり角では職員が案内を行い、誤った経路に進まないものとする。

3.1 避難群集モデル

学生たちが避難する際には心理的な要因は一切無視する。人の標準歩行速度を 1m/s とする。

3.2 大学とその周辺のモデル化

現実の建物を考え、シミュレーションする際に必要な要素のモデル化を行う。棟、メインストリート、門、一般歩道、交差点などの要素を点集合とし、それらの間を学生が移動する通路を表す枝集合とする。また 1m 間隔にダミーの点を置くことにより距離を表し、現実的なシミュレーションを行えるようにする。

枝を通過することができる学生の容量は、その枝を通過できる人数として表す。

4 計算例

ここで簡単な例（図1～図3）を用いて計算方法を示す。

4.1 大学内・一般道

- 棟に隣接する点はメインストリート上にあり、その間の点はダミーの点を表す。
- メインストリートの点の数値は人数を表し、枝の容量は 10 （人）とする。
- 避難時はメインストリートにいる学生を優先して逃がす。
- 棟が2つ隣接している点で、枝の容量を超えた場合、一方の棟を優先して避難させる。
- 図中の括弧内の数値は（“棟出口の容量”，“棟内にいる人数”）を表す。
- 避難する流れは一方向で、逆流することはないものとする。

図1の各アルファベットは棟を表し、時刻0では棟のみに学生がおり、メインストリートには学生はいないとする。ここから門の点に向かって避難する。

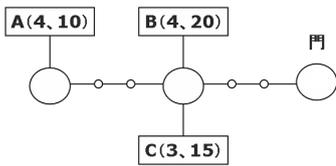


図 1: 時刻0

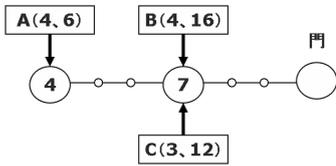


図 2: 時刻1

図2では棟の点からその棟の出口の容量の人数のみ、隣接するメインストリートの点に移動する。

時刻2では同様に門に向かい避難する。メインストリートの点の学生は次にあるダミーの点に移動する。

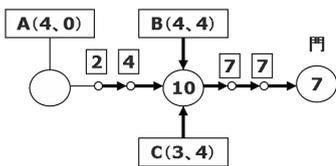


図 3: 時刻4

時刻4ではA棟から向かった学生がB、C棟に隣接する点に移動する。ここでメインストリートに流れる学生を優先させ4人移動し、更にこの場合はB棟を優先するとして4人が移動することで、メインストリートの点には8人が既にいることとなる。そのためメインストリートには移動が制限され、2人しか移動することができない。よってC棟からは時刻3までは出口の容量である3人が移動していたが、時刻4では2人が移動することとなる。

以下同様にすべての学生が門の点に避難するまで行い、時刻9のとき全ての学生が門の点に到着する。

4.2 門・信号

門より先では一般道となるため、容量が急激に減少する（実際には10人から2人に変化する）。

また信号では、信号が赤のとき移動が一時的に中断されてしまう。この状況を計算上で表すことは困難なため、信号での容量をその信号のある一般道の容量の半分とした。このため門・信号の点はボトルネックとなり、混雑が予想される。

4.3 改札口・券売機

駅構内の避難では、定期券やユリカ等の常時携帯できる乗車券を所持している学生は、直接改札口に向かうことができるが、それを持たない学生は一度券売機に向

かい、乗車券を購入しなければならない。そのため後者の学生は前者よりも移動に時間がかかる。

そこで図4のように「券売機」という新しい点を作り、「券売機」 - 「改札口」間の枝の容量を小さくし、避難する人数を制限する。

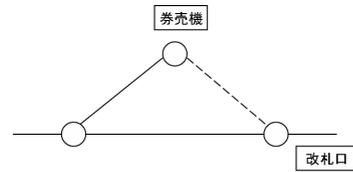


図 4: 「券売機」 - 「改札口」

4.4 地下鉄駅ホーム

地下鉄駅のホームでは学生が移動すると、一定の時間間隔で到着する地下鉄に順次乗車し避難する。それを計算上で表すことは困難であるため、これを連続的に捉え、1秒毎で乗車させる。ホームから乗車への移動を行うために、ホームの点の次に「乗車完了」という点を作り、1秒毎で学生を「乗車完了」に移動させることとする。

5 避難モデル化

以上の方法を用いて名古屋キャンパスとその周辺での具体的な避難モデルを作成する。

5.1 使用データ

各棟の学生数は授業登録者数を参考にした。避難を考える際には最悪の状況を想定すべきなので、最も授業登録者数の合計が多い水曜日の2時限目を用い、各棟の出口の容量と共に表2に示す。またメインストリートの容量は10（人）、それ以外の学内通路は5（人）、一般道の容量は2（人）とする。

そして対象のエリアから使用する通路を取り出し、図5のような全体のネットワークを作成した。また枝上の数値はその枝の距離（m）を表している。

駅のホームにて地下鉄に乗車し避難する人数として、地下鉄車両の形式定員から学生以外の乗客を考慮し、形式定員の7割が乗車可能人数として計算した。

表 1: 授業登録者数（人）と出口の容量（人）

	学生数	容量		学生数	容量
コバン	165	4	L	305	4
D	577	4	MK	1090	4
EF	864	4	図書館	250	3
J	151	4	A	55	2
G	889	4	B	1103	4
G-30	0	8	C	50	2
H	243	2			

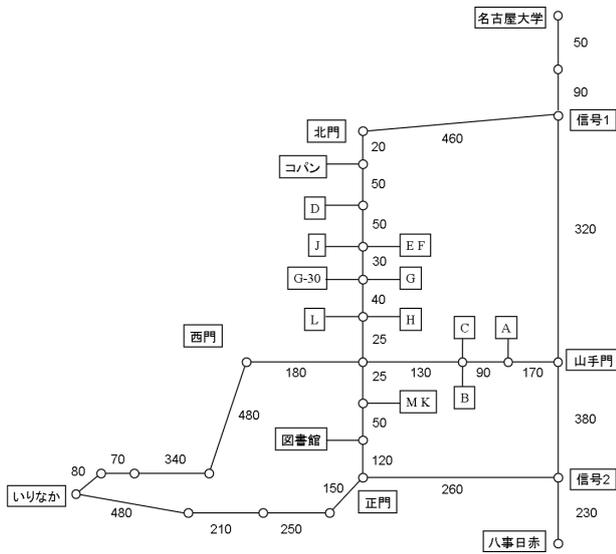


図 5: 全体のネットワーク

5.2 場合分け

避難時間を短くする最適な避難方法を求めるために、いくつかのシミュレーションを行った。

シミュレーションを行うにあたって、棟ごとに向かう門をあらかじめ決定し、棟と門の組み合わせについて場合分けを行う。ただし、異なる棟の進行方向が互いに衝突してしまうと、避難に大きなロスが生じてしまうのでその場合は除き、またメインストリートを境に向かい合っている棟は同じ門に向かうこととする。

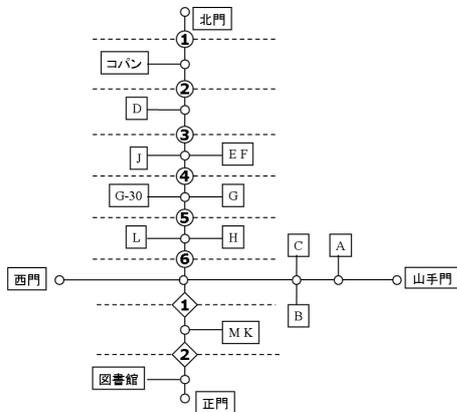


図 6: 校内メインストリート

場合分けとしてメインストリートの枝を2箇所まで分断することで表す。分断する箇所は西門-山手門の通路で分断される南北のメインストリートで、1箇所ずつ分断する。図7で分断する箇所に番号をつける。

新校舎 (A,B,C棟) は山手門から避難する。

6 実行結果と考察

まず南山大学生のみの学生の避難を扱う。このシミュレーションの結果、シミュレーション (2,2) が最後の学生が地下鉄に乗り込むまでの時間を最小にでき、「いりな

か」で3415秒 (56分55秒) にかかるという結果を得た。

実行結果より最小時間で避難できる方法を示し、この結果「いりなか」に一番多く学生が向かった際に避難時間が短くなることが分った。これは地下鉄鶴舞線の乗車可能人数が名城線に比べ多いことが考えられる。

6.1 他学校の学生の考慮

次に地下鉄駅での避難に他学校の学生を考慮し、地下鉄に乗車し避難できる人数を制限するシミュレーションを行う。

他学校には在校生数の全員がいるとは限らず、全在校生が避難するとは限らない。よって、他学校の在校生数全員を考慮した場合と、各在校生数の4分の3、4分の2、4分の1を考慮した場合とシミュレーションを行う。各シミュレーションにおいて極端な例となる在校生数全員と4分の1を考慮した場を除いた結果を以下の表に示す。

表 2: 他学校の在校生を考慮した結果 (秒)

分断箇所	名古屋大学		八事日赤		いりなか	
	3/4	2/4	3/4	2/4	3/4	2/4
1,1	9720	7300	8950	7210	13020	9820
2,1	10560	7925	8800	7095	12560	7095
3,1	13455	10075	6670	8260	10955	8325
4,1	18500	13800	7330	5935	8165	6295
5,1	22910	17045	6495	5280	5765	4555
6,1	25600	19025	5985	4875	4250	3455
1,2	11505	8610	7535	6100	13445	10130
2,2	12345	9235	7375	5975	13005	9810
3,2	20280	11435	6845	5555	11450	8680
4,2	20280	15110	5910	4815	8750	6725
5,2	24695	18355	5070	4155	6335	4970
6,2	26365	19585	4565	3760	4860	3900

シミュレーションの結果、次のようなシミュレーションで最小の避難時間となった。

- 在校生全員を考慮 ... シミュレーション (1,2)
- 在校生4分の3を考慮 ... シミュレーション (2,1)
- 在校生4分の2を考慮 ... シミュレーション (2,1)
- 在校生4分の1を考慮 ... シミュレーション (2,1)

この結果より、南山大学生のみを考慮した際に最小の避難時間となったシミュレーション (2,2) に比べ、全ての場合において「名古屋大学」、「いりなか」に向かう学生が少ない結果となった。これは地下鉄駅周辺に名古屋大学や南山中学・高校など学校が集中している場所では、地下鉄に乗車する際に大幅に制限されてしまうからである。

また現実的に考え、在学学生全員が存在する可能性は少ないと考えられる。おそらく在校生の4分の3から4分の2を考慮した数値が現実的と考えられる。よって避難時間は「名古屋大学」で153分55秒~191分45秒、「八事日赤」で

101分40秒～125分35秒、「いりなか」で168分50秒～224分5秒かかると予想される。

この結果より南山大学の学生は、他の学校が少ない「八事日赤」に最も多くの学生を避難させるべきと考えられる。

7 考察

避難時間が最大になるシミュレーション(6,2)では、「名古屋大学」で避難時間が最大となっている。これは乗車可能人数が少ないことに加え、新校舎の学生が集中して避難してしまうからと考えられる。次にいくつかの問題点を示したい。

7.1 門の問題点

門ではメインストリートの容量10(それ以外の学内通路は5)に対し、一般道の容量は2に減少してしまうため門では多くの学生が滞在することとなる。ただし、シミュレーション(2,2)では北門、西門では混雑が発生したが、山手門、正門では混雑は発生しなかった。

西門の混雑は最大1040人の学生が留まってしまい、また西門周辺はあまり広い場所ではないため、大きな混乱が予想される。これを改善するため案内人を配置する等の対策を行い、混乱を防がなければならない。

7.2 信号の問題点

信号では容量が半分となり、特に避難経路が合流する点である信号では門と同様に多く学生が滞在する。

信号では門以上の学生たちが滞在することとなる。信号は一般道なので、学生が多量に滞在することは一般の交通を妨げることになる。そのため地震発生時の被害の拡大に繋がりがかねないため重要視すべき問題点である。また門と比較すると倍以上の時間滞在中であることが示されているため、最優先で早急な対策が必要と考えられる。

8 避難における改善案

前章で示したシミュレーションにおける問題点を考えた上でいくつかの改善案を示し、その改善案を考慮したシミュレーションを行い、その結果について考察を行う。

8.1 信号の待ち時間を0にする

信号の問題は最も大きな混雑が発生する点の一つであり、優先的な改善が必要である。そこで信号での待ち時間を0にし、一般道と同様の扱いでのシミュレーションを行った。この結果、信号での混雑はなくなったが、その先にある各地下鉄駅の点で混雑が発生した。また信号の混雑に比べ、地下鉄駅の混雑は早く収束する結果となった。これは信号の容量に比べ、地下鉄駅の容量が大きく、早く避難できるためと思われる。

しかし、最終的な地下鉄駅ホームでの避難完了時間には変化は見られなかった。つまり混雑する点が先の点に移動するだけの結果となり、全体として避難時間の改善にはつながらない。

8.2 地下鉄の本数の増加

地下鉄の到着間隔を10分間隔から5分間隔に増加させ、シミュレーションを行った。他学校の学生を考慮したシ

ミュレーションにおいて、前章に行った場合分けのシミュレーションの全ての場合において混雑は見られたが、避難時間は半分近く改善される結果を得られた。

以下のグラフに10分間隔と5分間隔の「名古屋大学」のホームの点での在校生4分の3を考慮したシミュレーションのグラフを示す。このように大幅な改善が見られる。

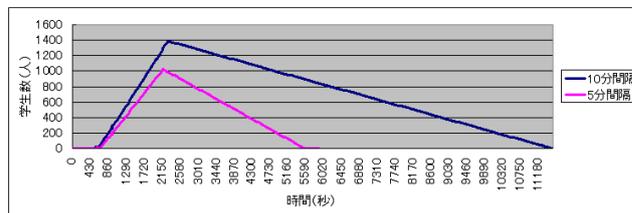


図 7: 名古屋大学

9 おわりに

今回の研究におけるシミュレーションにおいて最小の避難時間において2～3時間かかることが分った。この結果では、地震注意情報が発表されてからでは避難には間に合わず、災害に巻き込まれる可能性が非常に大きい。

改善案について、まず信号の待ち時間を0にすることで、信号での混雑は解消した。しかし、その先の点で混雑は発生してしまい、混雑に多少の緩和は見られるものの、全体の避難時間には改善が見られなかった。また自動車を規制することとなり、実際に実行するのは困難と考えられる。

次に地下鉄の本数を増加する改善案は大きな改善が見られた。しかし、この改善案も地震注意情報が発表されて、地下鉄の本数を2倍に増やすことはなかなか困難である。さらにこれから東海地震が発生する可能性が高くなるにもかかわらず、本数を増加させることはあまり現実的ではないと思われる。

結果として学生を避難することは困難であり、地震注意情報が解除されるか地震が起きるまで大学で待機させることを検討すべきであると思われる。

今後は地下鉄以降の避難も考慮して、どのような問題が発生するか考察したい。また実行可能で効果的な改善案を考察し、その効果を確認していきたい。

参考文献

- [1] 気象庁—地震情報,
http://www.jma.go.jp/jp/quake_tokai/
- [2] 日本車両,
<http://www.n-sharyo.co.jp/>
- [3] 阿部悦子:地震注意報発令時の避難モデル-南山大学名古屋キャンパスを例として-,南山大学 数理情報学部 数理科学科 2006年度卒業論文.
- [4] 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 数理科学科 2006年度卒業論文.