

東海・東南海地震における注意情報発令時のORを用いた南山大学名古屋キャンパスの対策について

2003MM024 井元太郎 2003MM096 杉山美帆

指導教員: 鈴木敦夫

1 はじめに

年々、東海・東南海地震が発生する可能性は高くなってきている。それと同時に、地震を予知する技術も発達しており、前兆（地震前に起こる異常な現象）を検知できる可能性がある。その現象が検知できた場合には、気象庁から地震に関連する情報が発表される。現在では、様々な方面において地震に関する情報が発表された場合の対策が考えられている。

南山大学名古屋キャンパスでは、「東海地震注意情報」が発表された時点で、学生全員を帰宅させるという措置がとられることになっている。現時点において、全学生を安全にキャンパス外へと避難させる方法として考えられているのが、学内の様々な場所に職員を配置させ、学生に避難指示・誘導をするというものである。

しかし、具体的に誰をどこに配置するのかというのは決まっていない。また、学生を誘導するための職員の数に限られており、職員の所在場所も散らばりが少ない。そのため、効率的な配置方法を考えなければ、学生全員を安全に、かつ、できる限り早く学外へ避難させることは難しいと思われる。

そこで本研究では、最適な誘導職員の配置方法を考えていく。

誘導とは、職員が決められた配置点に立ち、学生の流れが滞ることのないように指示を出す方法である。また、誘導する職員全員が決められた配置場所に到着した後に、学生が避難を始める。

法科大学院については、学外につながる出口が2箇所に限られているため、今回は研究対象として扱わないことにする。

2 東海地震に関連する情報

東海地震に関連する情報は3種類あり、危険度が低い情報から順に、

「東海地震観測情報」「東海地震注意情報」「東海地震予知情報」となる。

各情報は、次のような場合に発表される。

- 「東海地震観測情報」… 観測された現象が東海地震の前兆現象であると直ちに判断できない場合や、前兆現象とは関係がないと分かった場合。
- 「東海地震注意情報」… 観測された現象が前兆現象である可能性が高まった場合。
- 「東海地震予知情報」… 東海地震の発生のおそれがあると判断された場合。

以上すべての情報は、自治体の広報やテレビ・ラジオ等を通じて伝えられる。[2]

3 問題解決方法

以下の流れで基となるデータを求めていく。

- 職員配置場所の選定
- 各出口から避難する学生数の算出
- 各校門の利用人数の算出
- 時間ごとの学生の流れの算出

以上を利用して、職員をどの点に何人配置するのかという職員配置問題の最適化を図る。

そして、その結果を利用して、職員全員が最も早く配置場所に到着するような割り当て問題を解いていく。

最後に、注意情報発令後、職員が移動を始めてから学生全員が学外に出るまで何分かかるのかという避難時間を求める。

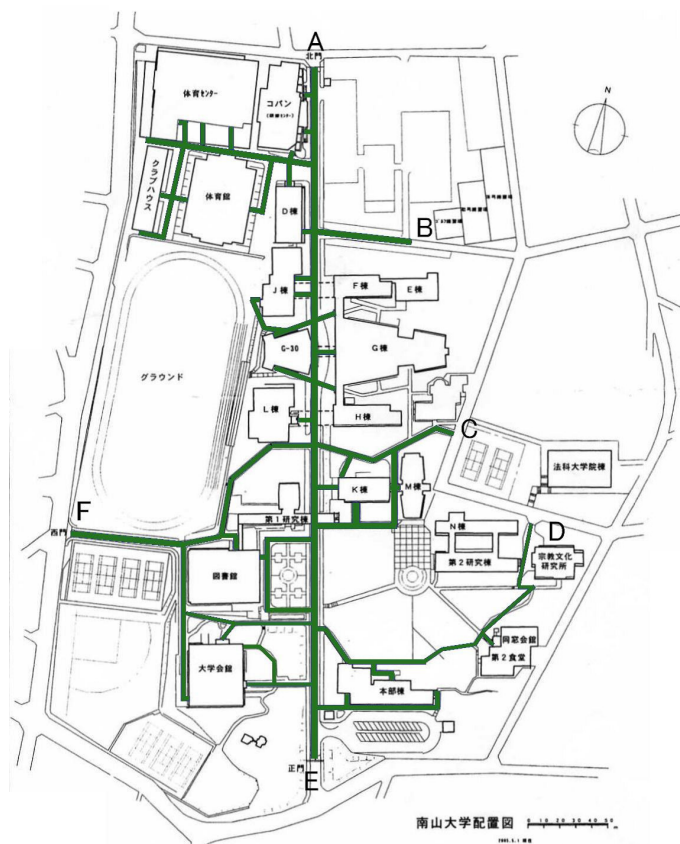


図 1: 経路

4 解法

添字, 記号の定義

N : 点の集合

$I \subset N$: 校門を表す点の集合 ($i \in I$)

$J \subset N$: 職員を配置する点の集合 ($j \in J$)

$L \subset N$: 建物の出口を表す点の集合 ($l \in L$)

$J_i \subset J$: $j \in J$ のうちで $i \in I$ に最も近い点の集合 ($j_i \in J_i$)

$J_l \subset J$: $j \in J$ のうちで $l \in L$ に最も近い点の集合 ($j_l \in J_l$)

t : 時刻(分) ($t = 1, \dots, T$)

τ : 時刻(分) ($\tau = 1, \dots, \tau_{max}$)

$R_{jl}^i \subset J$: $\forall j \in J$ のうち, $l \in L$ から出て $i \in I$ へ避難する経路において, $j \in J$ への人の流れ込みがある隣接する点の集合

m_i : $i \in I$ の吸引力

d_{il} : $i \in I$ から $l \in L$ までの距離

P_l : $l \in L$ から避難する学生数

Q_l : 1分間に $l \in L$ から避難できる限界の学生数

$P_{l\tau}$: 時刻 τ に $l \in L$ から避難する学生数

h : 誘導する職員の添字 ($h \in H$)

d_{hj} : $h \in H$ の所在場所から $j \in J$ までの距離

$A_{l\tau}^i$: 時刻 τ に $l \in L$ から避難する人の中で, $i \in I$ を利用する学生数

$B_{jl\tau}^i$: 時刻 τ に $l \in L$ から出て $i \in I$ に避難する人の中で, $t-1$ から t の間の $j \in J$ までに職員から指示を受けていない学生数

C : 1分間に1人の職員が見ることのできる限界の学生数

S : 誘導職員数 (47人)

S' : $j \in J$ に置くことのできる職員数 (41人)

変数の定義

$x_{jl\tau}^i$: 時刻 τ に $l \in L$ から出て $i \in I$ を利用する人の中で, $t-1$ から t の間に $j \in J$ で職員が指示した学生数

x_j : $\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{\tau=1}^{\tau_{max}} x_{jl\tau}^i$ の最大値 ($t = 1, \dots, T$) ($t = 1, \dots, T$ の中で, $j \in J$ において職員が指示した学生数の最大値)

y_j : $j \in J$ に配置する職員数

$$X_{hj} = \begin{cases} 1 & h \in H \text{が} j \in J \text{に配置される} \\ 0 & h \in H \text{が} j \in J \text{に配置されない} \end{cases}$$

4.1 職員配置場所の選定

南山大学名古屋キャンパスの学生は, 各建物の出口(以下, 出口)から, それぞれの校門へと分かれて学外へ避難する。

校門と出口, そして, すべての出口からそれぞれの校門までの経路(枝)の交点をノードとする。職員配置場所は, 全ノードから校門と出口を除いた点, つまり, 枝と枝との交点のみとする。校門は6箇所, 出口は46箇所, 職員配置点は37箇所となった。

誘導可能職員数 S は, 47人である。すべての職員配置点に職員が配置されるとは限らないが, 各校門には一人ずつを配置しなければならないこととする。よって, 職員配置点に配置される職員数 S' は41人となる。避難経路はそれぞれの出口から各校門までの最短経路である。ある1つの校門への経路において閉路はないものとする。

4.2 建物にいる学生数

建物内には教室定員の約7割の学生がいると仮定する。E, F, G, H棟は隣接しており, G棟にのみ3箇所の出口が存在する。そのため, 4棟の定員を合計して人数を設定した。また, K棟とM棟はつながっているため, M棟の学生の中でK棟の出口を利用する学生もいると考え, 設定した。

体育館, コパン, 大会館, クラブハウス, 同窓会館には定員はないが, 学生が利用しているとし, 適切な人数の設定をした。本部棟には職員のみが存在し, 学生は一人もないこととする。

4.3 各出口から避難する学生数

建物内の設定人数を基にして, 出口の大きさと出口に面している道の広さなどを参考に, 各出口から何人の学生が避難するのか(P_l)を決定した。

出口の大きさから, 1分間にそれぞれの出口から避難できる限界の学生数 Q_l を設定した。

時刻 τ に出口 l から避難する学生数 $P_{l\tau}$ は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \cdot P_l \leq Q_l \text{の場合} & P_{l\tau} = P_l \\ \cdot P_l > Q_l \text{の場合} & P_l - aQ_l \leq Q_l \text{になるまで} \\ & \text{分かれて避難する. } (a \text{は整数}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \tau \leq a \text{のとき} & P_{l\tau} = Q_l \\ \tau = a + 1 \text{のとき} & P_{l\tau} = P_l - aQ_l \end{cases}$$

以上から, 3分までには全員が各建物から出ることができるとわかった。

4.4 各校門の利用人数

各校門の吸引力を大きさに応じて設定した。

出口 l から校門 i までの距離 d_{il} は, 名古屋キャンパスの地図を利用して, 座標計算によって求めた。

時刻 τ に出口 l から出て, 校門 i から避難する学生数 $A_{l\tau}^i$ は次のように表すことができる。

$$A_{l\tau}^i = P_{l\tau} \frac{\frac{m_i}{d_{il}}}{\sum_{k \in I} \frac{m_k}{d_{kl}}} \quad (i \in I, l \in L, \tau = 1, \dots, \tau_{max}) \quad (2)$$

4.5 各職員配置点における時間ごとの通過人数

時刻 τ に出口 l から出る人が、1分ごとにどの点を通り、校門 i まで向かうのかを求める。その際に、各出口から校門までの距離データとノード間の距離データを利用した。また、避難時の歩行速度を分速60mとし、1分ごとに何人がどの点を通り、校門 i まで向かうのかを求めた。[3]

次に、 $B_{jl\tau}^i$ を求める。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{点}j\text{の中で出口}l\text{に最も近い点}j_l\text{の場合} \\ \\ B_{jl\tau}^i = A_{l\tau}^i - x_{jl\tau}^i \\ (i \in I, l \in L, \tau = 1, \dots, \tau_{max}) \\ \\ \text{それ以外の場合} \\ \\ B_{jl\tau}^i = \sum_{k \in R_{j_l}^i} (B_{kl\tau}^i + B_{kl\tau(t-1)}^i) - x_{jl\tau}^i \\ (i \in I, j \in J, l \in L, \tau = 1, \dots, \tau_{max}, t = 1, \dots, T) \end{array} \right. \quad (3)$$

点 j の中で出口 l に最も近い点では、時刻 τ に出口から出て、校門 i に向かう学生数から、職員が指示した学生数を引くことで求められる。

それ以外の場合は、 $t-1$ から t 分間に点 j に移動してきた人の中で、まだ職員の指示を受けていない学生数から、点 j において職員が指示した学生数を引くことで $B_{jl\tau}^i$ を求めることができる。

4.6 職員配置問題の定式化

目的関数

$$\sum_{j \in J} y_j \rightarrow \min \quad (4)$$

制約条件

$$\sum_{j \in J} y_j \leq S' \quad (5)$$

$$B_{jl\tau}^i = 0 \\ (i \in I, l \in L, \tau = 1, \dots, \tau_{max}, t = 1, \dots, T) \quad (6)$$

$$Cy_j \geq x_j (j \in J) \quad (7)$$

$$y_j \text{は整数} \quad (8)$$

定式化の説明

目的関数(4)は、誘導職員数の最小化を表している。

制約式(5)は、職員配置点に置くことのできる職員数は41人以下でなければならないことを示している。

制約式(6)は、校門前までに学生全員が職員の指示を受けることを表している。

制約式(7)は、職員が見ることのできる学生数は限られていることを表している。1分間に1人の職員が見ることのできる限界の学生数 C は120人とする。

制約式(8)は、職員数は整数値であることを示す。

以上により求められた点 j に置く職員数 y_j を用いて、割り当て問題を解いていく。

4.7 職員割り当て問題の定式化

目的関数

$$R \rightarrow \min \quad (9)$$

制約条件

$$\sum_{j \in J} d_{hj} X_{hj} \leq R (h \in H) \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} X_{hj} \leq 1 (h \in H) \quad (11)$$

$$\sum_{h \in H} X_{hj} = y_j (j \in J) \quad (12)$$

定式化の説明

目的関数(9)と制約式(10)は、職員の移動距離の最大値を最小にすることが目的であることを表している。

制約式(11)は、職員が各配置点に配置されることを示している。配置問題の結果より、配置されない職員も出てくる。

制約式(12)は、各配置点と校門に置く職員数が決まっていることを表している。

以上により求められた職員移動距離の上限値を R とする。

目的関数

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in J} d_{hj} X_{hj} \rightarrow \min \quad (13)$$

制約条件

$$\sum_{j \in J} d_{hj} X_{hj} \leq R (h \in H) \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} X_{hj} \leq 1 (h \in H) \quad (15)$$

$$\sum_{h \in H} X_{hj} = y_j (j \in J) \quad (16)$$

定式化の説明

職員の総移動距離を最小にするのが目的である。

制約式(14)は、職員の移動距離が上限値を超えないことを表している。

制約式(15)と(16)は、制約式(11)と(12)と同じである。

5 実行結果

PCの計算は、職員配置問題と割り当て問題ともに、Excel上の数理計画最適化ソフトウェアであるWhat's Best!8.0を用いて実行した。その結果、表1のような解となる。

表 1: 実行結果

番号	人数	場所(人数)
47	0	
48	1	D棟(1)
49	0	
50	1	D棟(1)
51	0	
52	0	
53	1	図書館(1)
54	2	D棟(2)
55	1	J棟(1)
56	2	J棟(1)N棟(1)
57	2	図書館(1)N棟(1)
58	2	図書館(1)N棟(1)
59	4	図書館(2)N棟(2)
60	2	図書館(1)N棟(1)
61	1	本部棟(1)
62	1	本部棟(1)
63	2	本部棟(1)図書館(1)
64	1	本部棟(1)
65	1	図書館(1)
66	1	図書館(1)
67	0	
68	0	
69	1	本部棟(1)
70	2	本部棟(2)
71	0	
72	0	
73	0	
74	1	本部棟(1)
75	0	
76	1	本部棟(1)
77	0	
78	3	N棟(3)
79	0	
80	0	
81	0	
82	2	本部棟(2)
83	1	本部棟(1)
84	0	
85	1	大学会館(1)
86	0	
87	0	
88	0	
89	0	
90	0	
91	0	
92	1	N棟(1)
93(A)	1	D棟(1)
94(B)	1	J棟(1)
95(C)	1	N棟(1)
96(D)	1	大学会館(1)
98(E)	1	本部棟(1)
99(F)	1	大学会館(1)
合計	44	

6 考察

職員数は47人であったが、本部棟の3人を除く44人で全員に指示を与えることができるという結果になった。配置場所には適当なばらつきがある。また、1人の学生を見るためにだけに配置されている職員もいるが、点を通する学生数が十分に多いため、配置は適切であると考えられる。

残りの本部棟の3人の配置については、AとEの大きな校門に1人ずつと、学生の流れより校門手前の通路での混雑が予想されるCの校門に1人置くことが適切ではないかと考える。移動距離も最長距離を超えることはない。

また、事故や混乱等が起こったときにいつでも駆けつけられるように、緊急時の誘導員として3人を本部棟で待機させる方法も良いのではないかと思う。

7 避難時間

職員配置場所までの最長距離は約295mであった。職員の歩行速度を一般成人女性と同じ分速84mとすると、全員が配置場所に到着するまでに約3分半の時間が必要である。[1]

学生の最長移動距離は約600mである。避難時の歩行速度を分速60mとすると、全員が学外に出るまでに約10分かかる。[3]

以上より、総避難時間は13分半で、注意情報が発令されてから15分もあれば避難が終わるという結果になった。

8 まとめ

本研究において、職員配置場所と人数を求めることができただけでなく、時間による学生の流れを求めることができたのは、大きな成果と言えるだろう。どの道が混雑する可能性があるのかなどを視覚的にわかるようにしたこと、誰にとっても避難時の様子がわかりやすくなった。

地震に限らず緊急時における避難においても、この結果を活かすことができるだろう。

また、建物内の避難方法も考え、それを本研究とあわせることによって、より正確な避難モデルを完成することができるだろう。

参考文献

- [1] 独立行政法人 交通安全研究所：都市交通システムのユニバーサルデザインの適応について、
<http://www.ntscl.go.jp/ronbun/happyoukai/16files/poster17.pdf>.
- [2] 気象庁：東海地震に関連する情報、
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/hellojma_index.html.
- [3] 宮花亜希子：「避難の数理モデル」、南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文、2003年。