Ⅱ－７

グラフ理論による水害避難シミュレーション
－名古屋市港区での定常浸水例として－

名古屋工業大学　　学生員　○増岡浩仁、高間真司、伴　勇二、　正員　長尾　正志

１．　浸水害からみた港区の特性

名古屋市の南部港区は全体に低平地で、例えば区全域でN.P.０ｍ以下が約50％、－１ｍ以下が20％も占める。特に西部の福田、西福田学区では低く、また農地が多いこともあって避難所の配置が十分でないなど、地域的な危険性の偏在もみられる。本研究は、水害発生の想定された場合に、一時避難所への緊急避難に伴う動的な住民行動を把握するために、グラフ理論と行列演算を用いてシミュレーションを行ったものである。

２．　シミュレーションの前提条件

２．１　避難情報の伝達モデル

アンケートによる水害想定時の避難意識調査を基礎にした避難情報の伝達モデルを用いる。この解は、情報伝達の手段として、 ①広報車　②テレビ・ラジオ　③電話・口コミ　の３種とした情報伝達の確率を用いて、次式で近似される。

$$P=\beta\left[\exp\{(\alpha+\beta-\alpha\beta)t\}-1\right]/\left[\alpha(1-\beta)+\beta\exp\{(\alpha+\beta-\alpha\beta)t\}\right]$$

ここに、　α：電話、口コミによる伝達率、$\beta=\beta_1+\beta_2-\beta_1\beta_2$　、β_1：テレビ・ラジオの視聴率、β_2：広報車の広報率である。このモデルのパラメータを水害例から推定して、伝達に与える影響度を推定した。結果として①と③の影響はそれほど大きくないが、②の影響が支配的であることが分かった。以後では $\alpha=0.1$,　$\beta_1=0.6$,　$\beta_2=0.025$　の値を採用している。

２．２　ＬＰによる最適避難所の割当て

シミュレーションを行うには、住民の避難所への地域的な割当てが定められていなければならない。現在この点はあまり明確でなく、おおむね学区単位で近くへ避難することになっている。そこで全体として最適な割当をＬＰで検討した。ここでは、学区より融通性を与えるために、全体を７ブロックに分割し、さらに危険箇所を通らないなどの配慮から、必要があればブロックを２～３分割した範囲内での避難住民の移動に留めた。以後この最小避難地域の分割単位を住区と呼ぶ。

さらに、住区からの避難には、高層二階以上の住民を差し引き、さらにアンケートで平屋で指定避難所へ避難すると解答した割合をかけた想定避難人数を用いた。

３．　シミュレーションによる避難行動の分析

３．１　シミュレーションの分析

最適配分された住区とその避難先を指定したうえで、浸水の予想された場合、一時避難所への事前避難として各地域ごとの避難状況を定常、非定常浸水について検討した。以下では、定常浸水について記述する。計算には有向パスを基礎としたグラフ理論とＡＰＬ言語を用いた行列演算を使った。なお、最短経路の算出には、Ｄijkstraのアルゴリズムをその ＤＰとして用いた。

３．２　前提条件

１）住民の出発地点、避難先は既知　　２）総避難人数、避難伝達の経過は既知　　３）避難経路は予定された複数の候補頂点から選択　　４）道路は避難住民を通すのに十分な交通容量　　５）避難は夜間、全住民が住宅より徒歩で実施

３．３　基礎データ

１）　距離行列　任意の２頂点（ｉ，ｊ），（ｉ，ｊ＝１，２，・・・，ｎ　ｎ：頂点総数）の間の距離Ｌijを要素とする行列をＬとする。

２）　標高行列　端点の標高ベクトルＥ＝（Ｅi）を用いて、（ｉ，ｊ）間の標高Ｈijを要素とする行

列Hを作る。なお、端点間の代表標高として、区間の平均標高と最小標高を採用する。

3） 避難速度　避難所への進行速度は、その区間の有効水深の一価関数で表わす。具体的には、有効水深の線形式を採用する。

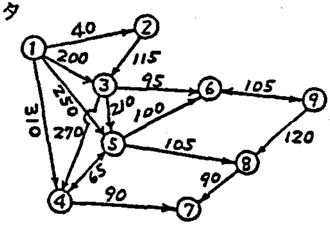
4． 定常浸水におけるシミュレーション計算

4．1 計算手順

まず、ある定常的な浸水位を与えて、標高との差から有効水深を求める。ついで、それに応じた速度での進行を考える。地点間の距離を速度で割って区間ごとの所要時間を出し、それを出発点から避難所まで加算して総合的な最小所要時間と最短経路を求める。最後に各時間ごとの住区ごとの避難人数と先述の避難情報の伝達経過を勘案しながら、全体的な避難の進行状況を算出していく。

4．2 シミュレーション計算例（ブロックⅠの住区4より西福田幼稚園へ）

1） 基礎データ



図－1 距離行列の有効グラフ表現（出発点1、到着点7）

距離行列 L〔m〕

$$
\begin{matrix}
0 & 40 & 200 & 310 & 250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 115 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 270 & 210 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 65 & 0 & 90 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 105 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 105 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 90 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 120 & 0
\end{matrix}
$$

標高ベクトル E［m］

$$
{}^{-}1 \quad {}^{-}0.9 \quad {}^{-}1 \quad {}^{-}0.4 \quad {}^{-}0.2 \quad {}^{-}0.7 \quad {}^{-}0.4 \quad {}^{-}0.3 \quad {}^{-}0.7
$$

2） 平均標高による計算手順

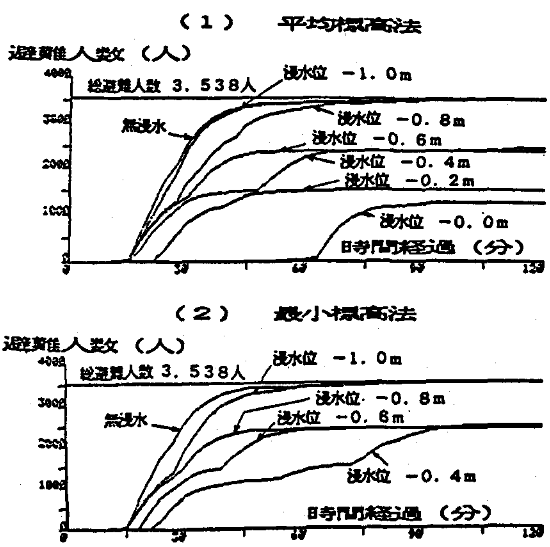
浸水標高を$H0=-0.6$mとすると、平均標高は、$H_{ij}=(1/2)(E_i+E_j)$，有効水深行列は$He=H0-H$，さらに速度式を$V=40-40He/0.7$〔m/分〕とする。これより最短経路とその経過時間は、①(0)→⑤(6.3)→⑧(8.9)→⑦(11.3分)となる。なお、この場合、最小標高による計算では、経路は変わらないが、その経過時間は、0　14.6　17.2　19.5分のようにかなり多くなる。

表－1 平均標高法・最小標高法の比較

（時間は分単位）

浸水標高(m)		平均標高法				最小標高法			
−1．0	パス	1	4	7		1	4	7	
	時間	0	7.8	10.0		0	7.8	10.0	
−0．8	パス	1	4	7		1	4	7	
	時間	0	7.8	10.0		0	10.9	13.1	
−0．6	パス	1	5	8	7	1	5	8	7
	時間	0	6.3	8.9	11.1	0	14.6	17.2	19.5
−0．4	パス	1	5	8	7	1	5	8	7
	時間	0	8.8	11.4	13.6	0	43.8	46.4	48.6
−0．2	パス	1	5	8	7	1	5	8	7
	時間	0	14.6	17.4	20.3	0	∞	∞	∞
0．0	パス	1	5	8	7	1	5	8	7
	時間	0	43.8	47.8	52.3	0	∞	∞	∞

さらに、表－1のように、有効水深が増せば避難は極度に遅くなるし、局所的な影響が強く作用する。また、図－2のように避難しきれないで、停滞してしまう危険の存在することが指摘される。このような危険の予想される場合には、ある程度避難をみあわせるような指示も必要となろう。



図－2 ブロックⅠの避難人数の推移状況