

大規模集客施設の利用を考慮した河川はん濫時の避難者配分計画

Evacuee allocation scheme including large customer facilities in flood disaster

原田 明日香[†], 小池 則満^{††}
Asuka Harada, Norimitsu Koike

Abstract Recently, flood disasters are occurred by torrential rains frequently. It is especially important to secure shelters for people who live near the river with the high risk of a flood. However, public shelters are not enough to accommodate in the evacuee people. In this study, we consider to use the large customer facilities which are operated by private sectors. The transportation problem is applied at Nishi ku, Nagoya city, Aichi, Japan and Matsusaka city, Mie, Japan. The result shows that the large customer facilities are effective for covering a shortage of the shelter capacity. Furthermore, we suggest the evacuation planning on the basis of local characteristic. In some cases, risk is increased by the long distance evacuation the routes pass through the stricken area.

1. はじめに

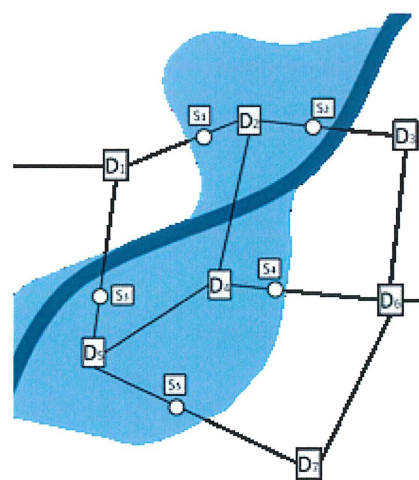
大規模水害に備えて避難所を確保することは重要な防災対策と考えられるが、行政の避難所だけでは収容能力の不足が懸念される。解決策として大規模集客施設等の民間施設の活用などが考えられるが、立地の偏りや災害リスクについて、検討する必要がある。

水害時の避難に関する研究は様々な角度から行われている。例えば、片田ら¹⁾は東海豪雨発生後、住民の避難情報の取得実態、ならびに危機意識や対応行動の実態を調査し、その中で住民への避難勧告に関する情報伝達の安定性や、正確性の重要性を明らかにしている。桑沢ら²⁾は避難情報の伝達や住民避難、そして洪水氾濫やこれらに基づく被害の発生状況までを表現する洪水避難シミュレータを開発し、防災教育ツールとしての有効性を示した。また、大上ら³⁾は長野市南部を対象に氾濫解析を行い、堤防が決壊した際の避難行動についてシミュレーションを行っている。

以上の通り避難行動に対する調査やシミュレーションは行われている。しかしこれらの中では、避難所の収容力や行政の避難所以外の施設への避難は想定されていない。中央防災会議の首都直下地震避難対策等専門調査会では、避難者に係る市区町村等の対策の現況と課題について、避難所における避難者収容力不足をあげている。また、須賀ら⁴⁾は河川氾濫時における水中歩行実験を行い、年齢別の被験者について安全な歩行避難可能領域について求め、年

齢により安全歩行領域に差が出ることを証明した。今後は行政の避難所のみにとられるのではなく民間の施設と協力していくことや、避難に当たって生じる負荷などを想定した研究が求められる。

そこで本研究では、大規模集客施設の一時避難場所としての有効性の検討を行うため、線形計画法のうちのひとつである輸送問題を用いて地域の避難所の配置状況と住民の避難先の配分を考え、よりリスクが少なく、多数が避難できる避難者配分計画を考えるとともに、民間施設を活用



D : 避難施設
S : 避難を開始する地点
— : 道路ネットワーク

■ : 浸水箇所
■ : 河川

図-1 被害想定図

† 愛知工業大学 大学院工学研究科 (豊田市)

†† 愛知工業大学 工学部 都市環境学科 (豊田市)

した場合の効果について検討することを目的とする。また、これにより、地域ごとの特性を踏まえた民間の大規模集客施設の利活用も含めた避難計画を提案する。

2. 調査方法

2・1 線形計画法

線形計画法とは、線形の制約条件のもとで線形の目的関数を最大もしくは最小にする値を数学的に求める方法である。⁹⁾そのうちの輸送問題とは、 m 箇所の生産地と n 箇所の必要地があるとき、どの必要地にどれだけの輸送を行えば輸送コストを最小化できるかを考える問題である。

2・2 定式化

本研究では避難者の配分にこの輸送問題を応用することを考える。具体的には、対象地区に対して避難の出発地と避難先を設定し、それに至るまでの移動リスクを最小化させる形で定式化する。移動リスクには、距離、想定浸水深、河川の有無などが考えられる。例えば図-1のS1からの避難を考えるとき避難先の候補としてD1、D2が考えられるが、浸水エリアの通過リスクを考えれば、距離の近いD2よりD1の方が望ましいかもしれない。また、近道であっても河川を渡らなくてはならないときは心理的・物理的にも抵抗がある、このように洪水を想定した避難行動は単純に距離だけで論ずるべきではなく、想定される河川の氾濫や浸水深に基づいた避難計画を立てなければならない。

$$\min. Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ij} = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j \quad (4)$$

$$c_{ij} = \sum_k e_k d_{ij} + f \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (6)$$

避難の出発地 i の人口を a_i 、避難所 j の容量を b_j 、 i から j への移動リスクを c_{ij} 、移動人数を x_{ij} とする。このとき、移動リスクの総和は式(1)のように求められ、これを最小化するような避難先を住民が選択できる避難計画を考える。それに対して、式(2)が総人口を示し、式(3)は示す避難先の容量の総和を示している。式(4)が需給バランスをとるために住民の総和と収容能力の総和を一致させる条件式で

ある。また、移動リスクに関しては式(5)のように避難経路における浸水深ごとの距離 d_{ij} に浸水深に応じた係数 e_k をつけ、その合計に河川の有無を示すダミー f を加算する。係数は浸水深0.5m未満の場合、歩行可能であるが通常よりも困難であると想定し、5.0とした。0.5m以上で1m未満の場合は通常よりもかなり困難であると判断し、10.0、1m以上の場合は歩行不可能と判断し、係数を100.0とした。式(6)は非負条件である。

2・3 計算条件

式の中で避難開始地点は浸水箇所となっている地域から小学校区ごとに選出し、人口はその小学校区の人口とする。避難先の施設は、避難開始地点以外の小学校区から選出し、収容能力は行政の避難所であればホームページなどに開示されているものを使用する。大規模集客施設は店舗床面積1畳に2人収容するものとして算出する。店舗床面積に駐車場等は含まれていないが、店舗内の棚や商品などの配置によって店舗床面積がすべて使用できるわけではないため、駐車場等の空き部分をその分の補填として考える。また、選出した避難所の収容能力が不足していた場合にはダミー(D)を用意し、そこに配分された住民は避難が不可能だったものとして扱う。ルートの設定は各避難開始地点から各避難所までの最短経路を設定し、リスクを加えることによっていかに変化するかを見る。リスクの加え方を具体的に言えば、100mの経路上に浸水0.5m未満が30m、0.5m以上1m未満が10m、残りは浸水していない場合

$$c = 30 * 5.0 + 10 * 10.0 + 60 \\ = 310 \quad (\text{m})$$

となる。経路上に河川がある場合は、上記の式に河川を渡る場合のリスクを加算する。

これらの条件に従って5つのパターンを算出する。

- ①行政の施設のみ使用した場合の配分
- ②①に加え、大規模集客施設を使用した場合の配分
- ③②に河川を渡る場合のリスクを付加した場合の配分
- ④②に浸水リスクを付加させた場合の配分
- ⑤③と④のリスク条件を総合した場合

3. 計算事例

3・1 対象地域

先述の計算モデルを名古屋市西区、三重県松阪市へと適用する。

名古屋市西区とは愛知県名古屋市16行政区のうちのひとつで、市の北西部に位置する市で、面積約17.9km²、総人口約140,000人である。区を二分するように庄内川が横切っている。

三重県松阪市とは三重県のほぼ中央に位置する市で、面

積約 623.6k m², 総人口約 168,000 人である。市の北東部に低平地があり, 雲出川, 三渡川, 阪内川, 金剛川, 榑田川の 5 つの河川がある。それぞれの河川に対しては氾濫想定がされ, ハザードマップが作成されている。

3・2 適用結果

3・2・1 名古屋市西区の計算結果

名古屋市西区のハザードマップと避難経路を図-2 に示す。白抜ききの▽で示しているものが避難開始地点, 黒塗りの▼で示しているものが行政の避難所, 赤塗りの▼で示しているものが民間の大規模集客施設で, 避難開始地点からそれぞれの色で避難施設まで結んでいる線が避難経路である。

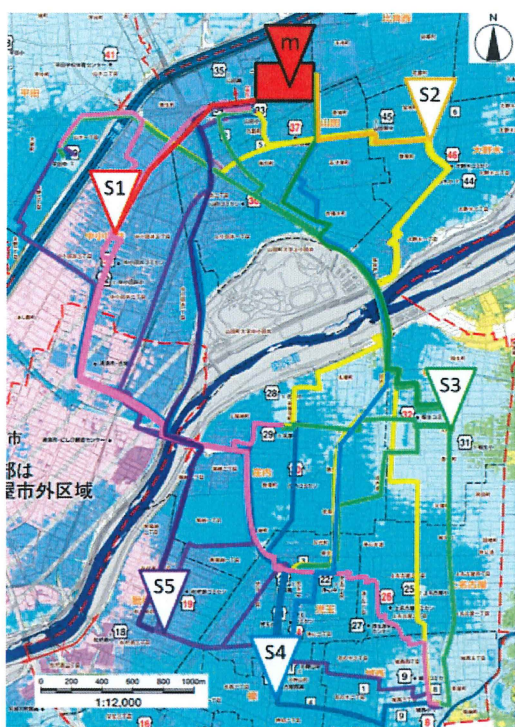


図-2 西区のハザードマップ及び避難経路

西区の①の結果を表-1 に示す。このとき, 総リスクは 4,601,660, 一人当たりのリスクは 1,228 であった。これを見ると, D に 4,246 人配分されており, 行政の避難所のみでは住民が避難しきれていないことがわかる。

西区の②の結果を表-2 に示す。このとき, 総リスクは 114,903,510, 一人当たりのリスクは 2,486.5 であった。これを見ると, 大規模集客施設 m を用いたことにより, 避難しきれていなかった住民も収容することができていることがわかる。

西区の③の結果を表-3 に示す。このとき, 総リスクは 338,913,510, 一人当たりのリスクは 7,334.0 であった。河川を渡る場合のリスクを付加したが, 配分に変化は見られ

ない。

西区の④の結果を表-4 に示す。このとき, 総リスクは 21,995,374,650, 一人当たりのリスクは 475,977.0 であった。浸水のリスクを追加したことによって配分に変化がみられる。

西区の⑤の結果を表-5 に示す。このとき, 総リスクは 22,018,294,650, 一人当たりのリスクは 476,473.0 であった。配分は④の結果と同様のものとなった。

表-1 西区①行政のみ

	D1	D2	D3	D4	D5	D	合計	人口
S1	922	532	0	0	0	9746	11200	11200
S2	0	0	0	0	0	10318	10318	10318
S3	0	0	757	0	0	11645	12402	12402
S4	0	0	0	1174	361	3284	4819	4819
S5	0	0	0	0	0	7472	7472	7472
合計	922	532	757	1174	361	42465		
容量	922	532	757	1174	361	42465		

表-2 西区②行政+民間

	D1	D2	D3	D4	D5	m	合計	人口
S1	922	0	0	0	0	10278	11200	11200
S2	0	0	0	0	0	10318	10318	10318
S3	0	0	0	0	0	12402	12402	12402
S4	0	0	757	1174	361	2527	4819	4819
S5	0	0	0	0	0	7472	7472	7472
合計	922	0	757	1174	361	42997		
容量	922	532	757	1174	361	89025		

表-3 西区③行政+民間(河川)

	D1	D2	D3	D4	D5	m	合計	人口
S1	922	0	0	0	0	10278	11200	11200
S2	0	0	0	0	0	10318	10318	10318
S3	0	0	0	0	0	12402	12402	12402
S4	0	0	757	1174	361	2527	4819	4819
S5	0	0	0	0	0	7472	7472	7472
合計	922	0	757	1174	361	42997		
容量	922	532	757	1174	361	89025		

表-4 西区④行政+民間(浸水)

	D1	D2	D3	D4	D5	m	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	11200	11200	11200
S2	922	0	757	1174	361	7104	10318	10318
S3	0	0	0	0	0	12402	12402	12402
S4	0	0	0	0	0	4819	4819	4819
S5	0	0	0	0	0	7472	7472	7472
合計	922	0	757	1174	361	42997		
容量	922	532	757	1174	361	89025		

表-5 西区⑤行政+民間(総合)

	D1	D2	D3	D4	D5	m	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	11200	11200	11200
S2	922	0	757	1174	361	7104	10318	10318
S3	0	0	0	0	0	12402	12402	12402
S4	0	0	0	0	0	4819	4819	4819
S5	0	0	0	0	0	7472	7472	7472
合計	922	0	757	1174	361	42997		
容量	922	532	757	1174	361	89025		

3・3 松阪市の計算結果

3・3・1 榑田川

松阪市を流れる榑田川のハザードマップと避難経路を図-3 に示す。図中の記号は図-2 と同様である。

大規模集客施設の利用を考慮した河川はん濫時の避難者配分計画

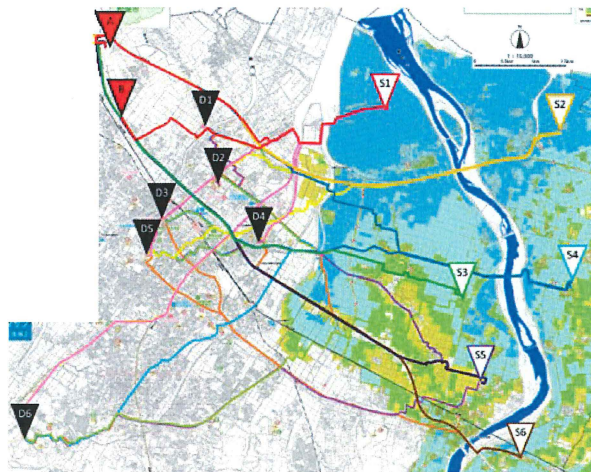


図-3 榑田川のハザードマップ及び避難経路

表-6 榑田川①行政のみ

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D	合計	人口
S1	2	134	165	98	222	286	1440	2349	2349
S2	0	0	0	0	0	0	1309	1309	1309
S3	140	190	98	76	121	158	1389	2172	2172
S4	2	0	2	2	12	60	1291	1368	1368
S5	70	115	100	78	123	160	1392	2038	4076
S6	70	115	100	78	123	160	1392	2038	2092
合計	284	555	466	332	600	824	8213		
容量	284	555	466	332	600	824	824		

表-7 榑田川②行政+民間

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	2349	2349
S2	284	0	0	0	0	0	0	0	1025	1309
S3	0	555	466	332	0	0	0	819	2172	2172
S4	0	0	0	0	0	0	0	1368	1368	1368
S5	0	0	0	0	600	824	2652	0	4076	4076
S6	0	0	0	0	0	0	2092	0	2092	2092
合計	284	555	466	332	600	824	4744	5561		
容量	284	555	466	332	600	824	31724	28437		

表-8 榑田川③行政+民間(河川)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	2349	2349
S2	284	0	0	0	0	0	0	0	1025	1309
S3	0	555	466	332	0	0	0	819	2172	2172
S4	0	0	0	0	0	0	0	1368	1368	1368
S5	0	0	0	0	600	824	2652	0	4076	4076
S6	0	0	0	0	0	0	2092	0	2092	2092
合計	284	555	466	332	600	824	4744	5561		
容量	284	555	466	332	600	824	31724	28437		

表-9 榑田川④行政+民間(浸水)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	2349	2349
S2	284	0	0	0	0	0	0	0	1025	1309
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	2172	2172
S4	0	555	0	332	0	0	0	481	1368	1368
S5	0	0	0	0	0	0	0	4076	4076	4076
S6	0	0	466	0	600	824	0	202	2092	2092
合計	284	555	466	332	600	824	0	10305		
容量	284	555	466	332	600	824	31724	28437		

表-10 榑田川⑤行政+民間(総合)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	A	B	合計	人口
S1	284	0	0	0	0	0	0	2065	2349	2349
S2	0	0	0	0	0	0	0	1309	1309	1309
S3	0	0	0	0	0	0	0	2172	2172	2172
S4	0	555	0	332	0	0	0	481	1368	1368
S5	0	0	0	0	0	824	0	3252	4076	4076
S6	0	0	466	0	600	0	1026	0	2092	2092
合計	284	555	466	332	600	824	1026	9279		
容量	284	555	466	332	600	824	31724	28437		

榑田川の①の結果を表-6に示す。このとき、総リスクは18,184,642、一人当たりのリスクは5,940.8であった。これを見ると、Dに8,213人配分されており、行政の避難所のみでは住民が避難しきれていないことがわかる。また、配分が分散していることがわかる。

榑田川の②の結果を表-7にしめす。このとき、総リスクは101,831,127、一人当たりのリスクは7,618.7であった。これを見ると、大規模集客施設A、Bを用いたことにより、避難しきれていなかった住民も収容することができていることがわかる。また、分散していた配分がまとまっていることがわかる。

榑田川の③の結果を表-8に示す。このとき、総リスクは149,521,127、一人当たりのリスクは13,262.5であった。河川を渡る場合のリスクを付加したが、配分に変化は見られない。

榑田川の④の結果を表-9に示す。このとき、総リスクは1,975,715,785、一人当たりのリスクは175,245.3であった。浸水のリスクを追加したことによって配分に変化がみられる。また、Aに配分されている住民が0となった。

榑田川の⑤の結果を表-10に示す。このとき、総リスクは2,021,511,181、一人当たりのリスクは179,307.4であった。配分は③とも④とも違う結果となった。

3・3・2 阪内川

松阪市を流れる阪内川のハザードマップと避難経路を図-5に示す。図中の記号は図-2と同様である。

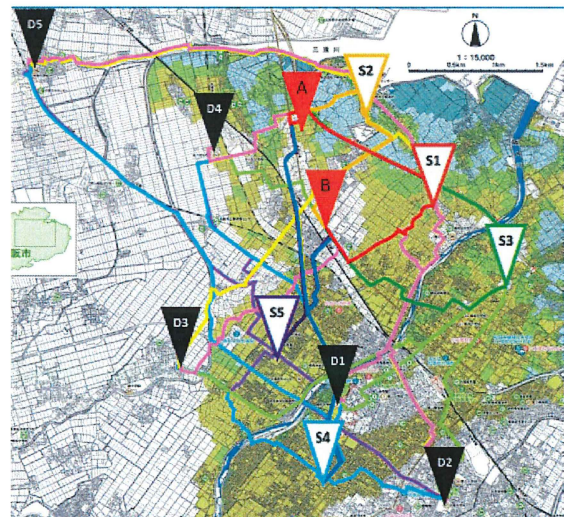


図-4 阪内川のハザードマップ及び避難経路

阪内川の①の結果を表-11に示す。このとき、総リスクは4,923,926、一人当たりのリスクは2,087.3であった。これを見ると、Dに31,111人配分されており、行政の避難所のみでは住民が避難しきれていないことがわかる。

阪内川の②の結果を表-12に示す。このとき、総リスク

は 69,316,742, 一人当たりのリスクは 2,071.0 であった。これを見ると、大規模集客施設 A, B を用いたことにより、避難しきれていなかった住民も収容することができていることがわかる。

阪内川の③の結果を表-13 に示す。このとき、総リスクは 235,664,995, 一人当たりのリスクは 7,041.1 であった。河川を渡る場合のリスクを追加したことによって配分に変化がみられる。

阪内川の④の結果を表-14 に示す。このとき、総リスクは 367,093,239, 一人当たりのリスクは 10,967.8 であった。浸水のリスクを追加したことによって配分に変化がみられる。

阪内川の⑤の結果を表-15 に示す。このとき、このときの総リスクは 533,463,239, 一人当たりのリスクは 15,938.6 であった。配分は④の結果と同様のものとなった。

以上を含む計算結果をケースごとに、図-5 から図-14 にまとめる。

表-11 阪内川①行政のみ

	D1	D2	D3	D4	D5	D	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	7275	7275	7275
S2	0	0	0	377	340	959	1676	1676
S3	0	0	0	0	0	9271	9271	9271
S4	535	554	0	0	0	7366	8455	8455
S5	0	0	553	0	0	6240	6793	6793
合計	535	554	553	377	340	31111		
容量	535	554	553	377	340	31111		

表-12 阪内川②行政+民間

	D1	D2	D3	D4	D5	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	1715	5560	7275	7275
S2	0	0	0	0	0	1676	0	1676	1676
S3	0	0	0	0	0	0	9271	9271	9271
S4	535	554	553	0	0	33	6780	8455	8455
S5	0	0	0	0	0	0	6793	6793	6793
合計	535	554	553	0	0	3391	28437		
容量	535	554	553	377	340	31724	28437		

表-13 阪内川③行政+民間(河川)

	D1	D2	D3	D4	D5	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	1715	5560	7275	7275
S2	0	0	0	0	0	1676	0	1676	1676
S3	0	0	0	0	0	0	9271	9271	9271
S4	535	554	553	0	0	0	6813	8455	8455
S5	0	0	0	0	0	0	6793	6793	6793
合計	535	554	553	0	0	3391	28437		
容量	535	554	553	377	340	31724	28437		

表-14 阪内川③行政+民間(浸水)

	D1	D2	D3	D4	D5	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	0	7275	7275	7275
S2	0	0	0	0	0	0	1676	1676	1676
S3	0	0	0	0	0	0	9271	9271	9271
S4	535	554	553	0	0	2674	4139	8455	8455
S5	0	0	0	377	340	0	6076	6793	6793
合計	535	554	553	377	340	2674	28437		
容量	535	554	553	377	340	31724	28437		

表-15 阪内川③行政+民間(総合)

	D1	D2	D3	D4	D5	A	B	合計	人口
S1	0	0	0	0	0	0	7275	7275	7275
S2	0	0	0	0	0	0	1676	1676	1676
S3	0	0	0	0	0	0	9271	9271	9271
S4	535	554	553	0	0	2674	4139	8455	8455
S5	0	0	0	377	340	0	6076	6793	6793
合計	535	554	553	377	340	2674	28437		
容量	535	554	553	377	340	31724	28437		

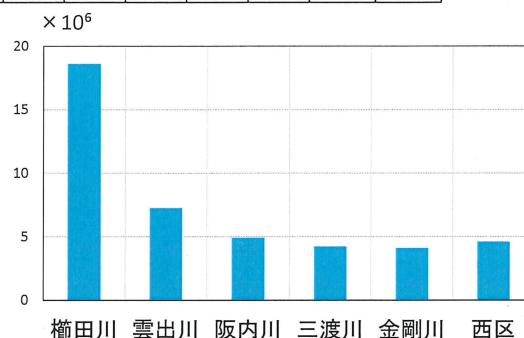


図-5 地域ごとの総リスク (①の場合)

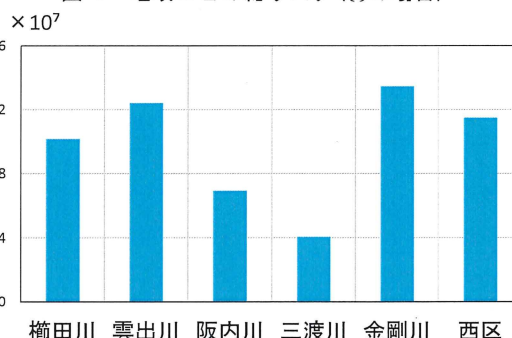


図-6 地域ごとの総リスク (②の場合)

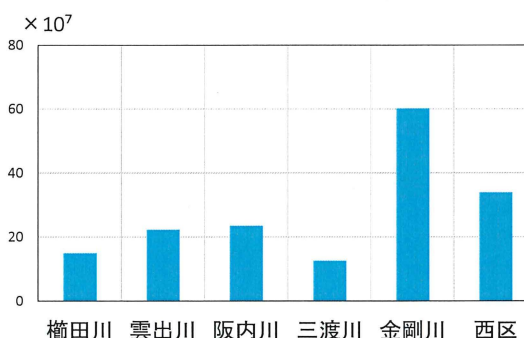


図-7 地域ごとの総リスク (③の場合)

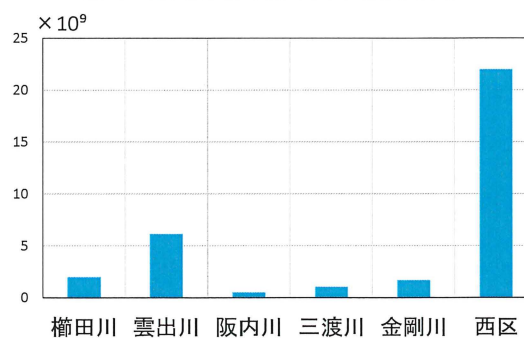


図-8 地域ごとの総リスク (④の場合)

大規模集客施設の利用を考慮した河川はん濫時の避難者配分計画

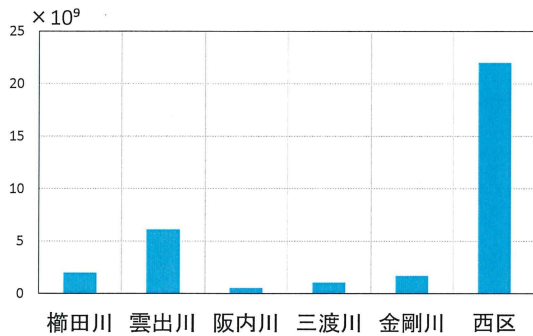


図-9 地域ごとの総リスク (⑤の場合)

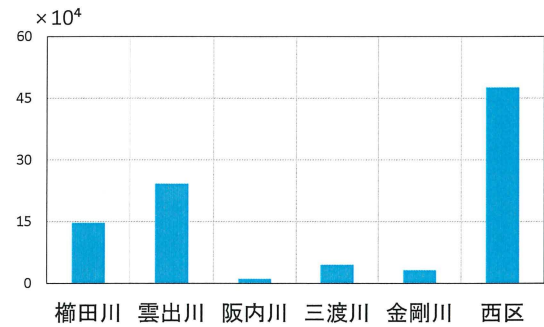


図-13 地域ごとの一人当たりのリスク (④場合)

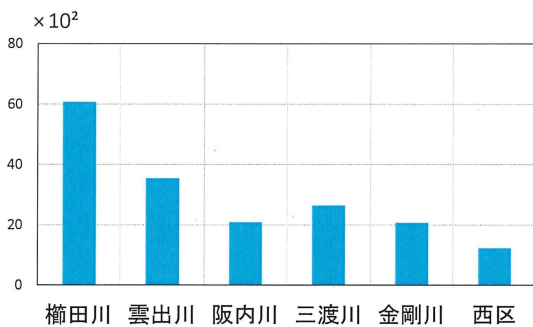


図-10 地域ごとの一人当たりのリスク (①の場合)

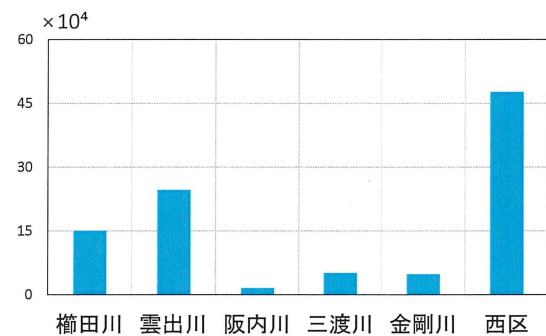


図-14 地域ごとの一人当たりのリスク (⑤場合)

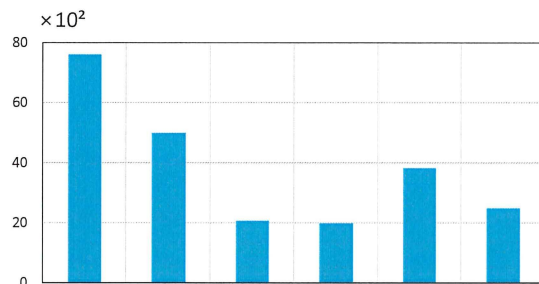


図-11 地域ごとの一人当たりのリスク (②場合)

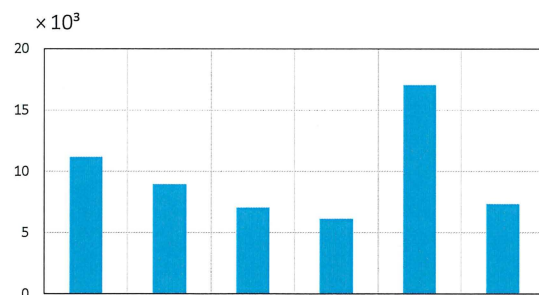


図-12 地域ごとの一人当たりのリスク (③場合)

4. 考察と提案

4・1 考察

4・1・1 名古屋市西区

①の場合、図-5を見ると、3番目にリスクが低い。しかし、図-10を見ると最もリスクが低い。しかし、Dへ配分された人口は42,465人となっており、一人当たりのリスクは低いが住民は避難しきれず、非常に危険な状態であるといえる。

②の場合、図-6を見ると2番目に高い値である。西区は他の地域に比べ人口が多いためこのような結果になったと考えられる。一人当たりのリスクを示した図-11を見ると、3番目に低い値であることがわかる。避難所として追加した大規模集客施設 m が区から離れたため、一人当たりの移動距離が増加したと考えられる。

③の場合の総リスクは図-7を見ると2番目に高い値であり、一人当たりのリスクは図-12より、②の場合の値と比較すると2.95倍となっていることがわかる。これは庄内川を渡らなくてはならない経路が多いためと考えられる。

④の場合、図-9を見ると全ケースの中で最もリスクが高い。また、図-13を見ても、最も高い値となっている。③の場合の値と比較すると191.42倍となっており、これも他の地域の増加率と比較しても飛び抜けて高い値となっている。これは広範囲にわたっての浸水が予測されてお

り, 浸水深も深くなっているためだと考えられる。

⑤の場合, 図-9, 図-14 どちらを見ても他の地域よりも飛び抜けて高い値となっていることがわかる。

この地域は全体的に 2m 以上の浸水が予測されている。また, 今回選択した大規模集客施設 m の立地の問題で, 多くの避難経路で河川を 2 本渡ることとなっており, これらの要因がリスクの増大につながったと考えられる。

4・1・2 榊田川

①の場合, 図-5, 図-10 どちらを見ても全体で最もリスクが高いことがわかる。すなわち, 榊田川周辺の地域の避難経路は最も移動距離が長いということがわかる。また, D へ配分された人口は 8,213 人となっている。

②の場合は, 図-6 を見ると 3 番目にリスクが低いことがわかる。図-11 を見ると一人当たりのリスクは全体で最もリスクが高いことがわかる。これは榊田川の対象流域が他の河川よりも広く, 一人当たりの移動距離が長いためと考えられる。また, 避難先として追加した大規模集客施設 A, B の立地は避難開始地点から離れており, ここでも移動距離が伸びたものと考えられる。

③の場合, 図-7 を見ると 2 番目にリスクが低いことがわかる。また, 図-12 を見ると 2 番目に高いリスクとなっていることがわかる。しかし, 値を見ると②の場合の 1.47 倍となっており, 他と比較すると大きな増加ではないため, 河川を渡ることによるリスクの増大よりも, 移動距離の比重が高いと思われる。

④の場合, 図-9 を見ると 3 番目にリスクが低いことがわかる。図-13 を見ると 3 番目に高いリスクとなっていることがわかる。③の場合の値と比較すると 19.85 倍となっており, これは他の地域の増加率と比較すると低いものとなっている。榊田川周辺の浸水深は決して低いわけではないが, 浸水している地帯を通る距離が比較的短いいため, このような結果になったと考えられる。

⑤の場合の総リスクは, 一人当たりのリスク共に, ④の場合と近い数値となっている。

この地域は全体的に移動距離が長くなっている。また, 経路の半分以上が浸水していない地域であるため, 浸水深によるリスクの増加が比較的少なかったのではないかと考えられる。

4・1・3 雲出川

①の場合, 図-5 を見ると 2 番目にリスクが高いことがわかる。また, 図-10 を見るとこちらも 2 番目にリスクが高い。すなわち, 雲出川周辺の地域の避難経路は比較的移動距離が長いということがわかる。また, D へ配分された人口は 22,802 人となっている。

②の場合の総リスクの値は図-6 を見ると 2 番目に高いことがわかる。一人当たりのリスクの値は, 図-11 から 2 番目にリスクが高いことがわかる。これは避難所として追

加した大規模集客施設 A, B が他の避難所よりも距離があるため, 一人当たりの移動距離が増加したためと考えられる。

③の場合, 図-7 を見ると 3 番目にリスクが低いことがわかる。また, 図-11 では 3 番目に高いリスクとなっている。しかし値は②の場合の 1.80 倍となっており, 他と比較すると増加の割合は少なく, 河川を渡ることによるリスクの増加分よりも移動距離の比重が高いと思われる。

④の場合, 図-8, 図-13 共に 2 番目に高いリスクとなっていることが読み取れる。一人当たりのリスクは②の場合の値と比較すると 48.58 倍となっている。これは大規模集客施設 A に向かう際の経路に浸水深 1m 以上の地帯が多いためであると考えられる。

⑤の場合の, 総リスク, 一人当たりのリスク共に, ④の場合と近い数値となっている。図-9, 図-14 どちらからも 2 番目に高いリスクとなっていることがわかる。一人当たりのリスクは②の場合と比較すると 49.38 倍である。

この地域は雲出川が松阪市と津市の境となっており, 河川を渡る経路が最も少ない。しかし, 市境にあるため避難の方向が限られており, 浸水深が深い地帯も経路に含まれているため, リスクが増加したと考えられる。

4・1・4 阪内川

①の場合, 図-5 を見ると 3 番目にリスクが高いことがわかる。また, 図-10 では 3 番目にリスクが低いことがわかる。すなわち, 阪内川周辺の地域の避難経路は松阪市内では比較的移動距離が短いということがわかる。また, D へ配分された人口は 31,111 人となっている。

②の場合の総リスクの値は図-6 を見ると 2 番目に低いことがわかる。一人当たりのリスクの値は①の場合の 0.99 倍で, 移動距離が若干であるが減少している。図-11 を見るとこちらも全体で 2 番目にリスクが低いことがわかる。これは避難所として追加した大規模集客施設 A, B が阪内川周辺地域の避難開始地点の中央にあるため, 全体としての移動距離が減少したのだと考えられる。

③の場合, 図-7 を見ると 3 番目にリスクが高いことがわかる。図-12 では 2 番目に低いリスクとなっていることがわかる。②の場合の値と比較すると 3.40 倍となっており, 他と比較すると増加しているが, 値としては低い結果となった。

④の場合, 図-8 を見ると最もリスクが低いことがわかる。図-13 を見るとこちらも最もリスクが低くなっていることがわかる。一人当たりのリスクの値を②の場合と比較すると 5.30 倍となっており, これは他の地域の増加率と比較すると最も低いものとなっている。これは大規模集客施設 A, B への経路が短いことも要因として挙げられるが, 阪内川周辺の浸水深が 0.5m 未満のものが多く, 全体的に浅いためであると考えられる。

⑤の場合, 図-9, 図-14 共に 2 番目に最もリスクが低い結果となっていることがわかる。

この地域は全体的に浸水深が浅い。また、避難所として追加した大規模集客施設 A、B が地域の中央にあるため、移動距離が減少し、浸水深によるリスクの増加も抑えられたのだと考えられる。

4・1・5 三渡川

①の場合、図-5 を見ると 2 番目にリスクが低いことがわかる。図-10 を見ると 3 番目にリスクが高くなっているが、数値的には低リスクの範囲であると考えられる。すなわち三渡川周辺の地域の避難経路は松阪市内では比較的移動距離が短いということがわかる。また、D へ配分された人口は 18,864 人となっている。

②の場合の総リスクの値は図-6 から、最も低いということがわかる。一人当たりのリスクの値は①の場合の 0.75 倍で、移動距離が減少していることがわかる。こちらも図-11 から、全体で最もリスクが低いことがわかる。これは避難所として追加した大規模集客施設 A、B が三渡川周辺地域の避難開始地点の中央にあるため、全体としての移動距離が減少したのだと考えられる。

③の場合、図-7 を見ると最もリスクが低いことがわかる。一人当たりのリスクの値を②の場合と比較すると 3.09 倍となっており、こちらも図-12 を見てわかる通り最も低い値となっている。リスクとしては増加しているが、値としては低いものとなっている。

④の場合、図-8 を見ると 2 番目にリスクが低いことがわかる。図-13 を見ると、こちらは 3 番目にリスクが低くなっていることがわかる。一人当たりのリスクの値を②の場合と比較すると 23.02 倍となっており、他の地域の増加率と比較すると低いものではないが、もともとの数値が低いため、このような結果になったと考えられる。

⑤の場合、図-9 を見ると 2 番目に低いリスクであることがわかる。また、図-14 を見ると 3 番目にリスクが低いことがわかる。値を②の場合と比較すると 26.01 倍である。

この地域は立地が阪内川周辺と似ており、全体的に避難経路が短い。しかし、浸水深が阪内川周辺と比較すると 1m 以上の浸水が多く、それがリスクの増加につながったと考えられる。

4・1・6 金剛川

①の場合、図-5 から最もリスクが低いことがわかる。また、図-10 から、一人当たりのリスクは全体で見ると 2 番目にリスクが低いことがわかる。すなわち金剛川周辺の地域の避難経路は比較的移動距離が短いということがわかる。また、D へ配分された人口は 33,280 人となっている。

②の場合の総リスクは図-6 を見てわかる通り、全体で最も高い。一人当たりのリスクは図-11 を見ると全体で 3 番目にリスクが高いことがわかる。これは避難所として追加した大規模集客施設 A、B が他の避難所に比べて距離があるため、全体としての移動距離が増加したのだと考えら

れる。

③の場合、図-8 を見ると、全体で最もリスクが高いことがわかる。一人当たりのリスクも図-13 からわかるように、最も高いリスクとなっている。値を②の場合と比較すると 4.48 倍となっており、他の地域と比較すると増加していることがわかる。金剛川には支流が何本もあるため、河川を渡る経路が多かったためだと考えられる。

④の場合、図-8 を見ると、3 番目にリスクが低いことがわかる。また、一人当たりのリスクを見ると図-13 の通り、2 番目にリスクが低くなっている。値を②の場合と比較すると 8.39 倍となっている。金剛川周辺の浸水深は浅いわけではないが、範囲が狭いためこのような結果となったと考えられる。

⑤の場合、図-9 を見ると 3 番目に低いリスクであることがわかる。一人当たりのリスクは図-14 の通り 2 番目にリスクが低い。値を②の場合と比較すると 12.63 倍である。

この地域は松阪市内で最も移動距離の短い地域であったが、支流が多く、河川を渡る経路が多いため、リスクの増加につながったと考えられる。また、浸水深も浅いわけではないが範囲が狭いため浸水深に関するリスクの増加を抑えられたと考えられる。

また、①の結果を見ると、ほとんどの地域で避難不可能とされる D へ配分される住民が人口の 9 割を超えていることがわかる。図-5 において多くの地域で最もリスクが低い値となっているが、住民が避難できていないことから、最も危険な状態であるといえる。

4・2 提案

以上の考察をもとに地域ごとに避難の提案をする。

西区は移動距離は短い、浸水深が深く、多くの住民が避難先となっている大規模集客施設 m への経路も、多くの地域で河川を渡る必要がある。また、中心地から離れているため移動距離が長くなっている。そのため西区においての避難行動は、垂直避難が基本である。しかし、大規模集客施設 m への避難を考えるのなら、移動距離が長い、早めの避難を推奨する。

榊田川周辺の地域は避難所まで距離があるので早めの避難が必要である。また、S2、S4、S6 といった避難所へ避難する場合も必ず河川を渡らなければならない地域は市外へ避難することが必要である。

雲出川周辺の地域も榊田川ほどではないが距離があるため、早めの避難が必要である。また、S3→A の経路のような浸水深の深い地帯を通る場合は少々距離は伸びるが、経路を変更し、浸水深の浅い地帯を通ることも必要である。

阪内川周辺の地域は大規模集客施設 A、B が有効であるため、そちらへ避難するための事前の取り決め等が求められる。

三渡川周辺の地域も阪内川周辺地域同様, 大規模集客施設 A, B への避難が望ましい。しかし阪内川に比べて移動距離が長いので, 早い段階で避難する必要がある。

金剛川周辺の地域は移動範囲は狭いが, 浸水深が深くなる地帯があり, また支流が多いため, S1 や S3 は垂直避難が求められる。また, S4 や S5 は大規模集客施設 A, B へ避難するのではなく, 東側へ避難することが望ましい。

以上の通り, 大規模集客施設は, 行政の避難時だけでは容量が不足する地域において, 非常に有効な収容施設となる。しかしながら, その立地によっては著しく避難のリスクが高まる可能性がある。今後地域防災計画に大規模集客施設を組み入れる際には, 単にその収容能力のみを考えるのではなく, 立地に応じた位置付けを考えることが極めて重要と言える。

5. まとめと今後の課題

本研究では, 大規模な洪水が発生した際の大規模集客施設の一時避難場所としての有効性の検討を行うため, 名古屋市西区, 三重県松阪市を対象地域として検証を行った。そこで, 民間施設を利用することで計算上は住民全員の収容が可能となったこと, 距離や危険地帯の通過といった要因により, 民間施設の利用が有効ではない地域もあること, 浸水深や渡河の有無に応じた係数を加えた際の増加率は地域の特性によって異なることがわかった。本研究モデルは小学校区別人口, 避難所容量, 距離, 浸水想定があれば計算可能であり, 他地域への適用可能性も高いといえる。

今後の研究課題として以下の点が挙げられる。

1. 行政の避難場所として一定以上の容量を備えた避難所を取り上げることに伴い, 多くの避難所を設定しなかった。このため, 大幅に住民が避難不可であるという結果になってしまった。一つの解決方法として, 避難所にも代表点を定めることが考えられる。たと

えば, 避難所が近隣に複数あり, ある地点まで避難すればそこからリスクの大きな変動がない場合は, その地点を代表地点として, 周辺の避難所の収容人数を合計した値を使用する, などして住民を多く避難させることができるような設定をすれば, 実現性の高い避難計画が提案できると考えられる。

2. 河川や浸水深などの情報はハザードマップを参考にしたため, 小さな水路などは計算に反映されていない。田畑の多い地域を対象にする場合は, 過の地図を調べるなどして, 冠水リスクを取り込む必要がある。
3. 松阪市においては, 浸水の想定が河川ごとのものであったため地域全体が水害に見舞われた場合の想定ができなかった。今後このような地域にモデルを適用する場合は広大な浸水想定と, それへのモデリングの対応が必要である。

参考文献

- 1) 片田敏孝, 児玉真, 浅田純作: 東海豪雨災害における住民の情報取得と避難行動に関する研究, 河川技術論文集, 第 7 巻, 155-160, 2001.
- 2) 桑沢敬行, 片田敏孝, 及川康, 児玉真: 洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用, 土木学会論文集 D Vol.64 No.3, 354-366, 2008.
- 3) 大上俊之, 山本祐輔, 豊田政史, 小山茂: マルチエージェントモデルを用いた河川氾濫時の避難行動シミュレーション, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol170, No.2, I_123-I_128, 2014.
- 4) 須賀堯三, 上阪恒雄, 吉田高樹, 浜口憲一郎, 陳志軒: 水害時の安全行動(水中歩行)に関する検討, 水工学論文集, 第 39 巻, 879-882, 1995.
- 5) 大野勝久, 田村隆善, 伊藤崇博: Excel によるシステム最適化, p.7, p.57-107, コロナ社, 2001

(受理 平成 28 年 3 月 19 日)