

都市コンパクト化に向けた氾濫リスク解析

FLOOD RISK EVALUATION FOR URBAN CONSOLIDATION

鷲見哲也¹・小泉光平²・辻本哲郎³

Tetsuya SUMI, Kohei KOIZUMI and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名古屋大学大学院講師 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町1)²学生会員 名古屋大学環境学研究科 博士課程前期課程 都市環境学専攻³正会員 博(工) 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻

Recently urban consolidation is thought to save variable social cost (for maintenance of infrastructure, disaster risk and so on). To maintain the flood risk cost or reduce social costs lower in compacting city, the technique to evaluate and show expected flood damage is needed. In this study, the spatial distribution and total value of the flood damage cost by flood in An-ei River basin as example, which includes urban area of Toyota, are evaluated. Yahagi River is the big river going through Toyota and may cause extensive damage when the levee is destructed by flood, but the probability of flood levee failure is low. Therefore, flood of tributary rivers, which happen more frequently, was considered. Calculated results show that frequent smaller flood is more effective for expected disaster damage, and contribution to expecting value by tributary flood disaster is much more than big river's flood.

Key Words : Urban consolidation, risk evaluation, flood simulation, social cost, expected flood damage.

1. 研究背景と目的

今後のわが国の人口減少と経済の低成長が予測される中で、拡大した都市の社会基盤の維持コストの確保は困難が予想され、そこで都市のコンパクト化、つまり都市機能や人間活動の領域を集約・限定する事で、様々な都市サービスを効率よく提供し、そのコストを低く維持する、という考え方が示されている。コンパクト化の検討においては、水害等の災害時リスクの減少・抑制も同時に図れるのであって、それをも考慮して流域内の都市機能配置や土地利用（高度な都市機能の集中区域や、高密度な住宅地など）のあり方を再検討するチャンスであるがその基礎的研究は十分ではないと言われている¹⁾。

災害を水害に限定すれば、主に低平地都市域において、水害とその対応に必要なコスト、例えば1年間（或いは一定期間）に期待される災害による被害額（例えば期待される浸水被害額）や、それを回避するための施設の年間維持コスト（例えば排水施設）が現況でどの程度あり、土地利用や市街地利用規制の変更によりどの程度抑制されるのか、ということをも算定することができれば、そのほかのコストや便益とあわせて最適な都市のあり方を見出すための、重要な資料とすることができる。水害リスクの高い部分への都市集約を合理的に避ける選択をするためには、期待される年間被災額の空間分布の中で低いところを選択すべきであるし、利用形態によっては、冠

水頻度が高く小さい規模の洪水による被害に注目する必要がある。本研究では、こうした検討を行う際の資料として、治水経済調査マニュアル²⁾をベースとした災害リスク(期待被害額)分布の算定・提示の方法について、愛知県豊田市の安永川流域において検討し、その結果から読み取れる有用性について議論する。

2. 対象流域の概略

本研究の対象流域は図-1に示した、安永川流域とする。この流域面積は9.55km²、流路延長は3.5kmである。豊田市の中心市街地を含んだ盆地内を流域とし(図-2)、資産が集中する、災害ポテンシャルの高い地域である。安永川は、豊田市東梅坪町付近に発し、矢作川沿いに市街地を南流して、水源町地内で矢作川に合流している。

2003年現在で安永川流域の市街化率は75.2%、市街化区域は80.6%であり、特徴的な都市河川である³⁾。この河川の特徴として、下流2.5kmの大半がトンネルで出来ている。これは、合流する矢作川本川の明治用水頭首工設置に伴い自然排水できなくなったことにより、昭和初期に頭首工下流まで開削したものである。トンネルは流下能力が10 m³/secあまりしかなく、トンネル入口上流の中部排水場（矢作川への排水）の計画実施中の排水能力47m³/secをあわせても、10年確率での基本高水流量90m³/secを大きく下回っているため、内水氾濫の頻度は

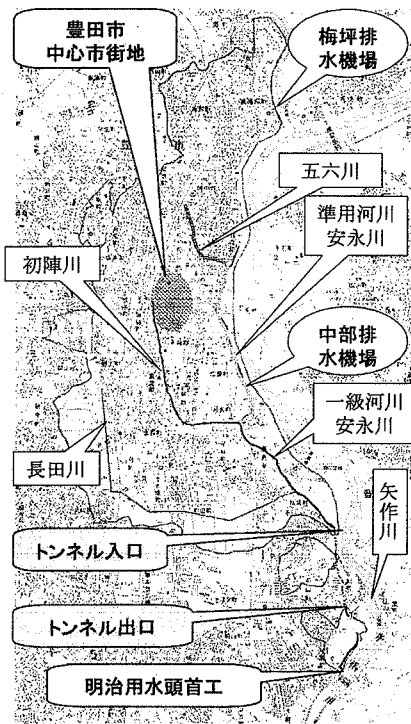


図-1 安永川流域図

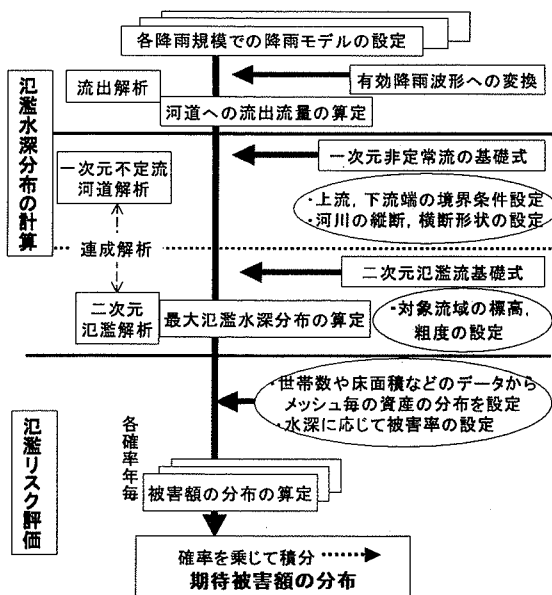


図-3 研究の流れ

非常に高い。2001年の東海豪雨実績を見ても、145戸の床上・床下浸水の被害が生じている。この流域における内水の排除のほとんどは中部排水機場に依存しているため、2003年に抜本的な排水システムの見直しが行なわれた⁴⁾。本研究では、現況の施設に基づいた検討を行う。

3. 研究内容

(1) 研究の流れ

本研究の作業におけるフローチャートを図-3に示すが、主には以下の2つの作業を行う。

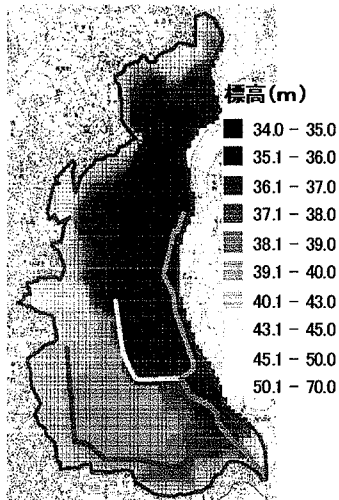


図-2 地盤標高分布

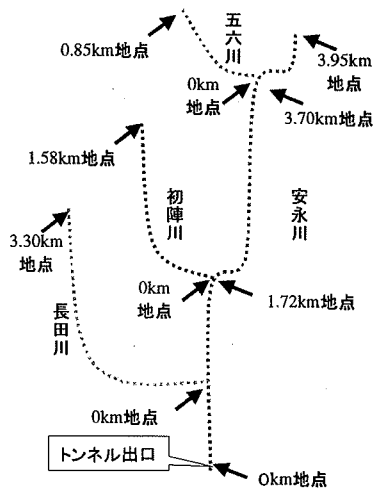


図-4 対象流域計算区間

・氾濫水深分布の計算

- 1) 様々な降雨規模での降雨波形モデルを設定する。これを有効降雨波形へ変換し、小区域からの流出流量、さらには河川への流出流量の分布を算定する。
- 2) 河道データ（縦断・横断形状）、上流・下流端の境界条件、地盤高分布および粗度の設定を行う。
- 3) 一次元の非定常解析と二次元氾濫解析の連成計算により、最大氾濫水深分布を算定する。

・氾濫リスク評価

- 4) 世帯数や床面積などのデータから、被災対象資産額の分布を空間メッシュごとに設定する。
- 5) この資産額に、浸水深に応じた被害率を乗じて、被害額を算定する。
- 6) 算定された各降雨毎の被害額を各降雨の発生確率密度を乗じて、積分することにより、一年間に期待される被害額として一枚の分布図に示す。

上記における5) 及び6) の被害額分布図や流域合計の値を資料として見る場合について討論する。

(2) 流域のモデル化

a) 計算区域・区間の設定

本研究での、河道解析及び氾濫解析を行う計算区間を示す。図-4に示す安永川、五六川、初陣川、及び長田川の四つの河川において河道解析を行う。安永川下流端は矢作川合流地点とする。氾濫解析においては、河道解析と同様、安永川下流端をトンネル入口より上流において氾濫解析を行うものとする。但し、後に図-6に示す様に、対象流域北側の梅坪排水機上のエリアは矢作川にポンプ排水しているため今回は計算領域から外した。

b) 降雨の扱い

本研究では、洪水を引き起こす外力として単純化のため地域のDD特性に応じた中央集中型降雨波形を用いる。中央集中型降雨波形とは、ある確率降雨の規模を想定し、一つ降雨波形で代表させるモデルである。本研究では、名古屋観測所の降雨時間別の確率雨量降雨強度より、確率

表-1 降雨強度曲線パラメータ

T(min)	a	b	n
1.1	0.536	280.5	0.61
2	4.289	814.50	0.70
3	6.134	1113.50	0.72
4	7.362	1327.90	0.73
5	8.697	1537.40	0.74
6	9.116	1638.30	0.74
7	10.516	1842.80	0.75
8	10.878	1926.50	0.75
10	12.683	2211.20	0.76
20	16.572	2933.60	0.77
30	20.100	3545.30	0.78
50	24.916	4416.50	0.79
70	29.451	5216.70	0.80
100	32.249	5803.30	0.80
150	38.800	7004.80	0.81

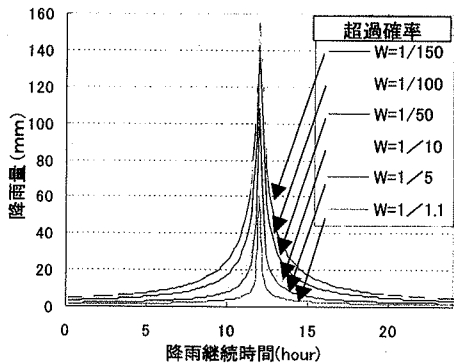


図-5 中央集中型降雨波形

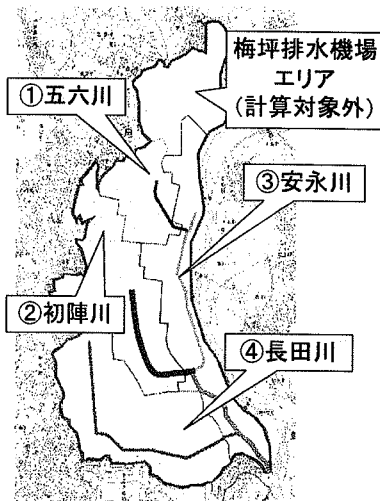


図-6 降雨エリア分け

規模別の降雨強度式(1)を作成したものをを用いた。

$$i = b / (t^n + a) \quad (1)$$

但し、 i ：降雨強度[mm/hr]、 t ：降雨継続時間[分]、 a 、 b 、 n ：定数とし、パラメータ a 、 b 、 n は表-1に示す。

この降雨強度式を用いて1.1年から150年までの再現確率年で、それぞれの降雨継続時間毎の降雨強度を求める。これを再現確率年毎に、継続時間と降雨強度との関係に示し降雨強度曲線を求め、本研究の洪水を引き起こす外力となる中央集中型降雨波形(図-5)を作成する。

c) 有効降雨モデルと支川への流出量の計算

さらに、流域の流出計算においては有効雨量の算定が必要である。本研究では $f_i - R_{sa} f_{sa}$ モデルを用い、中小河川検討委員会⁵⁾で示されているこれらの標準値を用いて、各降雨波形を入力とした、各土地利用毎の有効降雨波形を予め計算した。そして、対象流域を河川ごとにさらに図-6のように四つの小流域に分け、分割した小流域ごとの各土地利用の面積を算定しておき、これと対応する有効降雨波形を乗じて土地利用にわたって積分して、各支川流域からの流出流量を求めた。本研究では、対象流域が小さく遅れ時間を考慮せず、この小流域毎の有効降雨波形をそのまま河道への流出流量波形とし、様々な確率年毎に同波形を用いて氾濫計算を行った。

本研究では、対象流域が小さく遅れ時間を考慮せず、小流域毎の有効降雨波形をそのまま河道への流出流量波形とし、確率年毎の同波形を用いて氾濫計算を行った。

(3) 河道・氾濫解析

a) 河道解析モデルの設定

本研究では、河道解析のプログラムとして、開水路の一次元非定常流の基礎式として一般断面の連続式と運動量式を用いた。また、式の離散化については、有限体積法に基づいた離散式を用いた⁶⁾。離散化にあたり Δt は50 m平面グリッドで切断されて得られるものとした。水位

が地盤高を越える場合には、当該時刻のその Δs の区間が持つ平面グリッド内での水位上昇(下降)を計算し、同時間(Δt)内の氾濫解析モデル計算に引き渡す。

上流端の流入量は無いものとし、それぞれのエリアにおいて均等に流入するものとする。安永川下流端における境界条件として、矢作川の越戸地点当該確率年での確率流量を求め、安永川と矢作川の合流地点での水位をそれに対応する下流端条件として一定水位で与えた。

b) 氾濫解析モデルの設定

本研究では、氾濫解析では連続式とManning則のみを用いた拡散波近似の解法を用いた。また、連続式の離散化については有限体積法を用い、陽解法で差分化した。まず、流量フラックスを、前時刻での各グリッド境界での水面勾配ベクトルから求め、これを用いて連続式により Δt 後の時刻の水深を求めた。 $\Delta t=1\text{sec}$ とし、当該グリッドに河道がある場合は、その水位を河道内水位として一次元計算に引き渡している。この連成解析から、各50mメッシュ毎の最大水深分布を求める。

氾濫原の粗度については、氾濫シミュレーション・マニュアル⁷⁾を用い、50mメッシュごとに土地利用の占有面積を調べ、最初に建物を除いた底面粗度係数を以下の加重平均式(2)により求める。

$$n_0^2 = \frac{n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (2)$$

但し、 A_1 ：農地面積、 A_2 ：道路面積、 A_3 ：その他の面積、 $n_1=0.060$ 、 $n_2=0.047$ 、 $n_3=0.050$ とする。

次に、建物を除いた底面粗度係数を用いて、建物占有率を考慮した合成等価粗度係数を、以下の式(3)より求める。

$$n^2 = n_0^2 + 0.020 \cdot \frac{\theta}{100 - \theta} \cdot h^{4/3} \quad (3)$$

但し、 θ ：建物占有率(%)、 h ：水深(m)とする。本

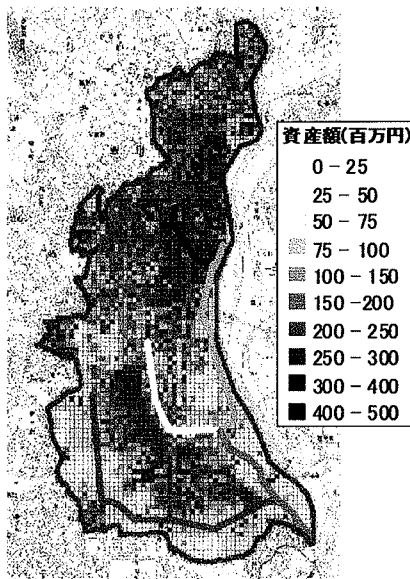


図-7 資産分布図

研究では、この合成等価粗度係数を用いることとする。

(4) 氾濫原の設定(標高・土地利用データ)

本研究では国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高, 2001年)データを用いて対象流域内の標高データをGISを介して、国土地理院の2万5千分1地図上に表示した。(図-2)このデータは、2万5千分1地形図の等高線から計測・計算し求めた数値標高モデル(DEM)である。このデータは本研究では、氾濫計算において最大水深分布を求めるために用いられる。

また、国土地理院の細密数値情報(10mメッシュ土地利用, 1991年)データを用いて対象流域内の土地利用データをGISを介して、国土地理院の2万5千分1地図上に表示した。土地利用データは、(1)有効降雨波形を求めるため、(2)氾濫原における、粗度の設定のため、(3)対象資産中の農作物の資産を求めるために必要な、水田・畑の面積を求めるために用いられる。

(5) 被災リスクの算定方法

治水経済調査マニュアル²⁾の方法に準じ、氾濫解析結果より算出される浸水深分布、地盤勾配、世帯数、資産等のメッシュデータより被災リスクの算定を行う。今回被災リスク(額)の分布の算定を行う上で、GISの空間解析データツールを用いた。

本研究において対象とする資産は、直接的に被害を受ける家屋や家庭用品などの一般資産と農作物のみとする。その他に実際被害を受ける資産としては、道路、下水道、橋梁などの公共土木施設や、直接的ではなく間接的に被害を受ける事務所や公共サービスの営業停止損失や、応急対策費用などがある。本研究における対象資産は、それぞれ資産種別の評価単価²⁾に平成12年国税調査に関する地域メッシュ統計から取得した床面積や世帯数等に乗じることにより、GISを介して50mメッシュごとに対象資産を

算定する。図-7に示したのは50mメッシュごとに対象資産を合計した金額である。資産額の分布を見てみると、長田川沿いにはそれ程資産が集中していない一方で、五六川沿いは資産が大きく集中していることが分かる。

次に、50mメッシュごとに算定された対象資産に、それぞれ浸水深に応じた被害率²⁾を乗じて、被災額の算定を行う。これらを合計することにより対象流域における確率規模別の被災額を算定する。更に、この被災額に発生確率を乗じて積分することにより、年平均の期待被害額を算定する。

4. 豊田市市街地周辺における水害リスク評価

(1) 水深分布

安永川流域内における最大浸水深分布は河道解析・氾濫解析を行った結果、図-7のようになった。1.1年から150年までの様々な確率年降雨で解析を行ったが、1.1年から10年確率の降雨ではほとんど深刻な被害をもたらすような浸水は見られなかった。また、1.1年から100年までの確率降雨においては、矢作川は氾濫しないものとして考えた。150年確率降雨に関しては、矢作川が氾濫する時と氾濫しない時の二通りを考えた。そこで、1.1年から100年までの確率降雨においては河道解析、氾濫解析を行った結果を用いた。150年確率降雨においては、豊橋河川事務所が示している150年確率降雨に対しての浸水予想図の浸水深を用いた。

その結果、10年から100年確率降雨に関しては、ほぼ同じような浸水分布が見られた。浸水深を見てもそれほど大きな変化は無く、1m以上の浸水深はほとんど見られない。150年確率降雨で矢作川が外水氾濫した場合、浸水深分布には大きな変化が見られる。150年確率の浸水分布は100年確率降雨までの分布とは全く異なり、矢作川沿い一帯は3m以上の浸水が見られる。もし矢作川が外水氾濫した場合、安永川流域は豊田市の中心市街地を含め広い範囲で普通の高さで考えると、一階が完全に浸水してしまうほどの浸水深になる。浸水深が大きいところでは5m以上にもなり、二階まで完全に浸水してしまうほどの地点もある。

(2) 被害額分布

図-8の水深分布より50mメッシュごとに水深に応じた被害率を資産額に乘じ、被害額の算定を行った(表-3)。10年、100年、150年確率の被害額分布を図-9に示した。

表-2より10年確率降雨より小さな規模の降雨に関しては、それ程大きな被害は見られない。これは、浸水深が床下程度までしかなく浸水域も小さいためである。しかし、30年確率降雨を超える規模の降雨では浸水分布も広がり、被害額も流域内合計で100億円を超える災害となる。30年確率降雨より規模が大きな降雨に関しては、被

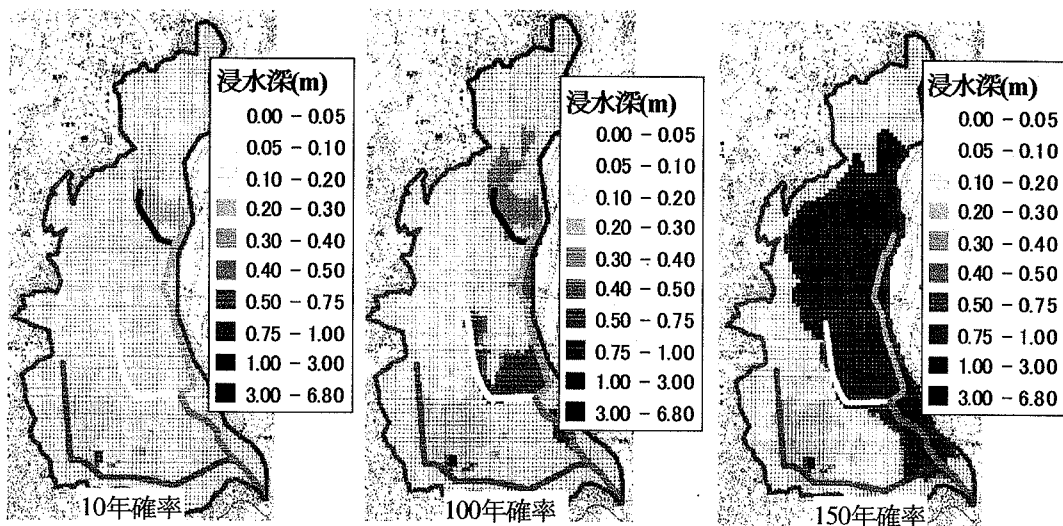


図-8 浸水深分布

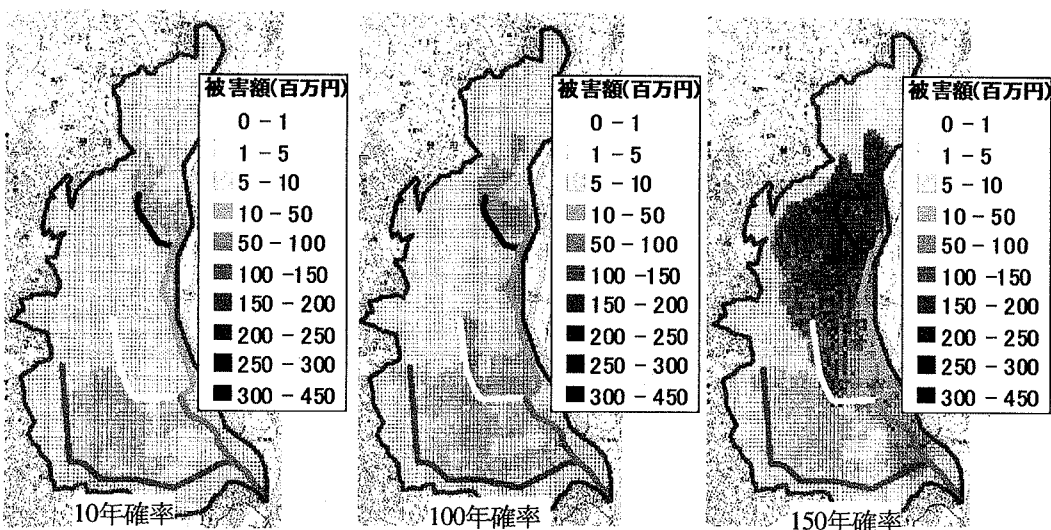


図-9 被害額分布

害額の値にそれほど大きな変化が見られなかった。150年確率降雨に関しては、矢作川が氾濫するものとして考えたため被害額は2000億円を超えた。50mメッシュ換算値は、流域内被害額を流域内の50mメッシュの数で除算して算定した。

浸水深分布と被害額分布図の比較により、(1)五六川流域は小さな規模の降雨でも氾濫しやすく住宅などが密集しているため、被害額が大きくなりやすい地域となっている。また、(2)長田川沿いは小さな規模の降雨で氾濫が起こるが田や畑が多いため被害額はそれほど大きな値とはならない。(3)安永川と初陣川合流地点付近も浸水深は大きい、住宅や商業施設が少ないため被害額はそれほど大きくなく、排水設備の改善を行わない場合、この地域への都市施設の集約は行うべきではないことが定性的にわかる。

(3) 期待被害額

次に、グリッドごとに、確率年に対応する被害額 $D(T)$ に確率年 T の確率密度関数 $(f(T)=1/T^2)$ を乗じて積分す

表-2 被害額

	流域内被害額(億円)	50×50m換算値(万円)
1. 1年	3.6	9.2
5年	25.9	66.1
10年	56.5	143.8
30年	152.4	388.1
100年	156.2	398.0
150年	2052.3	5227.5
資産合計	4974.9	12671.7

ることにより期待被害額の分布を求めた。各確率年毎に求めた被害額分布を用いて、年間期待被害額の分布の算定を行った(図-10)。これによれば、段丘上にあたる西側の微高地ではゼロであり、そうした所への都市集結が水害回避の側面のみ考えれば最適であるが、他のコストや便益・都市機能のサービスの要素を考えれば低平地の比較的安全なエリアへの集結が検討されることになり、その地域選定を数量的に検討するための資料となる。

流域全体での年間期待被害額合計は約40億円となった(図-11)。同図の確率年 T を横軸として積分した累積被

害額の変化から、150年より右側での被害額の増分、つまり外水氾濫による被害リスクの総額は14億円/年程となり、内水によるリスクと外水氾濫によるリスクの流域全体で約2:1程度となり、内水氾濫の被害額解消は50年確率降雨より規模の小さい降雨に対して行えばほぼ解消され、20年対応でも相当の割合の解消が期待できる事が言える。このような資料は、施設への投資・維持のコストを求めておき、利用形態の変化を誘導するか施設対応を行うのか、という選択を、他のコスト・便益も含めた比較・検討を行うために非常に有用であることがわかる。

(4) 集結モデルの解析と考察

本節では、コンパクト化において検討される際に、ある地域でへの都市施設の集結を検討する場合を想定し、資産分布に関する条件を変更したモデルを設定して被害額の変化を見ることとする。

資産の変更方法としては、50mメッシュの各地域内の資産合計を用いて、500mメッシュで資産を移動する。農地面積が大きい地域や住宅が密集している地域など、特徴的な資産分布が見られる地域を取り上げ、そこへ他の地域の値を与える事で、撤退・集結地域のシナリオのモデルとする。

今回モデルとして、図-9に示す初陣川中流域の若干商業化した地域である市街化区域（商業資産20.4億円、資産合計74.1億円）に豊田駅前周辺の商業地域と同等資産となるまで資産を集積させた場合（商業資産50.7億円、資産合計179.9億円）、つまり、商業資産も資産額合計も現在の2倍以上となるモデルケースを考える。初陣川中流域は、比較的低い確率規模の降雨においても氾濫水深が現れる地域であるが、国道248号沿いに商業施設がある程度定着し、今後も更なる商業施設の増加が予想される地域である。

解析の結果、現状からの年間期待被害額の変化は1.8億円（4.5%）の増加となった。初陣川中流域の国道248号沿いがさらに発展すると、これだけの期待被害額の増加が見られ現況の治水施設では内水氾濫リスクが高まる事が定量的にわかり、都市の集約を抑制や治水施設への投資などの意思決定を経済ベースで検討するための有用なデータとなることがわかる。

5. 結語

これらの検討と資料の提示は、都市コンパクト化を軸とした都市のマスタープラン策定のみならず、治水施設の投資・維持をも含めた都市のあり方に関する意思決定の場面において、他要素をも合わせ定量的に経済ベースで検討する際に有用である事を示唆した。今後、他の都市計画でこれも含めた検討を行う上での問題点を抽出し、実用化するための研究を進める必要がある。

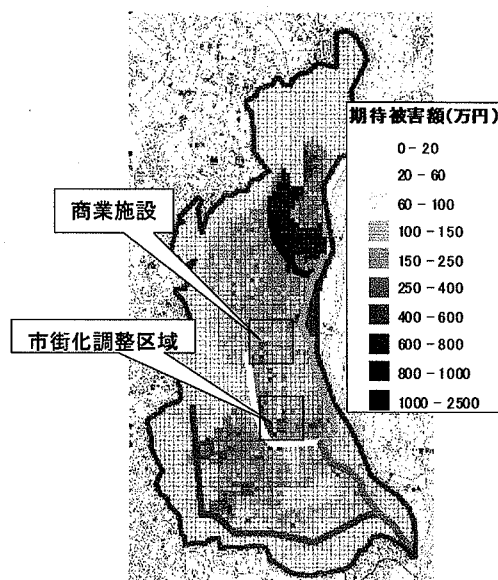


図-10 期待被害額分布

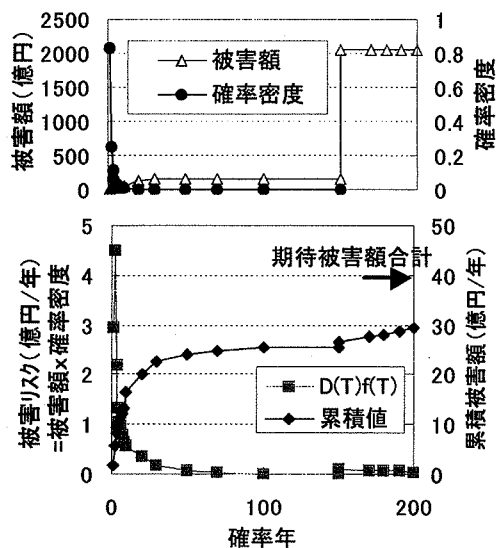


図-11 期待被害額の積分計算

参考文献

- 1) 清水喜代志：近年の河川流域行政に見る政策課題，土木学会全国大会研究討論会研-03資料，pp.6-7，2003.
- 2) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル，pp.1-17，pp.37-56，2000.
- 3) 国土交通省都市・地域整備局：豊田市中心市街地における200年耐用型街区への再生モデル，pp.131-132，pp.147-155，2004.
- 4) 愛知県：一級河川矢作川水系・矢作川中流圏域・河川整備計画，pp.30，2004.
- 5) 中小河川検討委員会：中小河川計画の手引き(案)，pp.64-65，2001.
- 6) 細田尚・朝位孝二：ダム破壊流れの1次元解析，水工学における計算機利用の講習会・講義集，土木学会水理委員会基礎水理部会，1999.
- 7) 建設省土木研究所：氾濫シミュレーション・マニュアル(案)，pp.11-12，1996.

(2005. 4. 7 受付)