

地方都市における治水計画の方法に関するシステム論的研究

京都大学工学部 正員 吉川和広
 京都大学工学部 正員 春名 攻
 建設省 正員 〇井山 聡

1. 本研究における観念 近年都市域では人口や資産の集積の程度の変化、すなわち土地利用の変化が著しい。都市化の進んだ河川流域ではこれらに十分対応した治水対策の確立を目指し努力が続けられているが、いまだに災害が生じやすい状況にある地域も数多く残されている。総合治水対策が叫ばれる以前の治水計画では流出機構の変化や治水安全度の低下をすべて治水施設で受け持たねばならないことが多く、治水対策と変化する土地利用との間の効用の不均衡をもたらし災害を効率的に制御できなかったのである。この問題に抜本的に対処するためには、治水計画と都市計画・地域計画の内容をあらかじめ十分に調整できるようにしておく必要がある。本研究では以上のような観点から都市域の発展動向をも考慮した総合的な治水計画を策定するとともに、地域を望ましい方向へ誘導できるような都市計画・地域計画を同時に策定することを目指した治水計画問題の分析を行う。

2. 本研究のねらいと概要 本研究では先に述べたような観点から、都市化流域における治水問題の分析や治水計画の策定方法を取り扱った従来の研究をふまえて、治水計画の策定方法を合理的に体系化することを目的としている。すなわち、流域の都市化が進行してきている地方中核都市の中小河川をここの具体的検討対象として取り上げ、そこでの計画化の問題に対してシステム論的な分析を行った。つまり、都市河川の治水計画の策定方法と計画立案のための必要な情報を有効にとりまとめる方法の開拓をねらいとして、水文・水理現象のメカニズムを十分に反映させた現象分析を行いながら、治水計画問題の定形化・定式化を行う方法とともにこの問題の分析プロセスを提案することを目指した。そして、実証的なシステム分析を和歌山市の和歌川流域に対して実施し本アプローチの有効性を確認しようとした。

3. システム論的アプローチⅠの概要—基本計画～整備計画レベルでの検討— 本研究では都市計画・地域計画レベルとの整合性を考えながら治水計画レベルとして、基本計画～整備計画レベル(アプローチⅠのレベル)と構想計画レベル(アプローチⅡのレベル)という2種類に分けてアプローチにおける分析プロセスを提案している。ここでは初めて10年程度先の流域を対象とした前者のレベルでの計画化の問題を取り上げて検討を加えた。すなわち、基本計画レベルあるいは整備計画レベルでの計画策定のための情報をとりまとめることを目指して、分析プロセスを図1に示す4つのステージに分けたが、ここではこれらについて概説する。

まず、対象流域の自然的、社会・経済的、物的諸現象を十分な精度で分析プロセスに反映

Kazuhiro YOSHIKAWA Mamoru HARUNA Satoshi IYAMA

させることはプロセス全体を通じて求められることでステージ1：対象地域の治水計画に関連する基礎的情報の整理
あるので、治水面と強く関連すると考えられる基礎的情報を整理してとりまとめるステージ1を考える。

- | | |
|----------------|------------------------|
| (1) 自然条件 | (2) 都市施設の整備状況 |
| (3) 社会経済的条件 | (4) 既存の都市計画
地域計画の内容 |
| (5) 治水上の問題点の整理 | |

ついで、ステージ2ではそれらの基礎的情報に基づいて計画目標年次における対象流域の将来像を合理的に複数案想定し、水害発生プロセスにかかわる人口や産業活動の分布状況、土地利用状況を推定するとともに、当流域において治水安全度を確保向上する際の基本的な方針について考察を加え治水計画の目標とする。

ステージ2：対象地域の将来像の想定—治水計画との関連部分について

- | |
|--------------------|
| (1) 将来像の検討と想定(複数案) |
| (2) 治水計画の目標の設定 |

さらに、ステージ3においては計画目標を達成すべく現場の技術者や計画者の経験や意向を十分配慮しながら、流域の都市化に備えての治水手段を構想する。

ステージ3：対象流域の治水対策案の作成

- | |
|---------------------------|
| (1) 水害発生プロセスのシミュレーションモデル化 |
| (2) 流域のモデル化と必要なデータの整理 |
| (3) 分析対象降雨の作成 |
| (4) 治水手段の構想 |
| (5) 治水手段の効果に関する分析 |
| (6) 治水対策案の作成 |

として、水害発生現象のメカニズムを十分反映させたシミュレーション実験による分析を通じて、種々の治水手段(種類・位置・規模)の中から治水上有効なものをいくつか選り出して次のステージでの治水対策案とする。

ステージ4：対象流域の治水対策案の評価

- | |
|------------------------|
| (1) 治水計画モデルの定式化 |
| (2) 治水計画モデルによる分析 |
| (3) 治水計画策定のための情報のとりまとめ |

最後に、ステージ4では前ステージまでの分析で選ばれた治水対策案をここで定式化する治水計画モデル

図-1 アプローチIの流れ

によって評価する。すなわち、分析を通して有効な治水手段の種類・位置・規模を明らかにするとともに、対象流域の将来像に適応する治水計画策定のための情報としてとりまとめる。また、複数案想定した流域の将来像のそれぞれに対しての有効な治水手段の内容の相違をとらえることによって、治水面から見ても望ましい都市計画・地域計画を策定していくうえに必要な情報としてもとりまとめることとする。

4. 和歌川流域を対象とした実証的分析(アプローチI) 以上のような分析プロセスを和歌川流域の治水計画問題に適用して実証的な分析を行った。

まず、和歌山市に関する基礎的情報を治水面から整理してみると、現在の和歌川流域はきわめて水害に弱い状態にあることがわかった。また、今後の都市化によって市街地が拡大した場合には、対策が十分に講じられない限り治水問題の悪化が予想され、先行的な治水計画の立案が望まれていることも明らかとなった。

そこで、既存の都市計画や地域計画の内容をふまえて和歌山市の将来像(昭和65年)を3ケース想定し、水害発生プロセスに影響を及ぼす流域の土地利用形態別面積や氾濫域の人口や産業活動の分布状況を把握した。

ついで、非氾濫域ではKinematic Wave法により氾濫域では貯留型流出モデルにより表面流を追跡するようなシミュレーションモデルを構成し、水害発生プロセスを十分な精度で再現することを目指した。として、主として市街地の浸水防除を目標として治水手段を構想するとともに、当流域にとって最も危険と判断される実績降雨を引き伸ばした降雨を用いて治水手段の効果に関して定量的な分析を行った。ここでは治水手段の効果と治水安全

度の向上としてとらえるとともに、流域内の人口や産業活動の分布状況が明示的に反映され、かつ算定方法が確立されてきている直接被害額を治水安全度の評価尺度として用いることとした。分析の結果、当流域においては有効な治水手段の施設規模と想定される直接被害額の両者の間には数値的に強い線形関係が認められた。

この特徴を有効に利用して計画化に関する検討では分析精度や分析効率などを配慮しつつ、それらの規模を計画変数とするような治水計画モデルを表-1のように定式化した。そして、その効果をこの計画モデルによって詳細に分析した。その際通常のように数理計画モデルによる最適解を求めるだけでなく、より総合的な分析を行うために総事業費をパラメータとするパラメトリック分析を行いその計画内容の変化状況を求めることとした。その結果、河道改修や内水排除用ポンプ等の有効性や都市化による想定被害額の激増などが明らかとなったが、詳しい分析結果については講演時に発表する予定である。

5. システム論的アプローチⅡの概要—構想計画レベルでの検討— 都市と河川にかかわる種々の問題が幅渡している河川流域では、より長期的な観点から都市整備と河川整備を十分に整合のとれた内容となるように事前に検討しておく必要がある。ここでは都市整備と河川整備を複合的な事業として構想計画化するという立場に立って検討を進めることとする。すなわち、このような考え方のもとでの総合的な計画の策定のために必要な情報をシステム論的に分析しその結果を効果的にとりまとめるプロセスを図-2に示すように提案する。

まず、ステージ1では対象地域を流れる河川に関する基礎的情報を若水利水環境の3側面より収集する。そして、河川整備と河川側面から対象地域の都市整備上の問題点を、河川整備と都市整備の一体化を目ざして整理するとともに、問題を構成する要因間の関連関係を把握する。

ついで、ステージ2では前ステージで整理した都市整備上の問題点に対応して河川整備とかかわる部分に限定はされるが都市整備の目標を明らかにしておくことにする。また、目標を達成するための都市整備案として人口や産業活動の分布状況や河川整備対策をも構想する。

さらに、ステージ3では前ステージで構想した都市整備案を河川整備面から評価するために計画モデルを定式化する。そして、この計画モデルを用いて多面的、多角的に分析を行うことにより、構想

表-1 治水計画モデルの定式化の内容

(1) 評価関数	$S \rightarrow \min.$
(2) 制約条件	
a) 現象の記述	$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + a_{i0}$
b) 総想定被害額の制約	$S = \sum_{i=1}^m S_i$
c) 治水施設の規模の制約	$p_j \leq x_j \leq q_j \quad j=1, 2, \dots, n$
d) 総事業費の制約	$\sum_{j=1}^n c_j x_j \leq C$

ここで、 S は総想定被害額、 S_i は流域 i で想定される直接被害額、 x_j は治水施設 j の規模、 a_{ij}, a_{i0} は(重回帰分析による)推定値、 p_j, q_j は治水施設 j の規模の下限値(現況値)、上限値、 c_j は治水施設 j の単価、 C は総事業費の上限値、 m は流域の総数、 n は治水施設の総数である。

ステージ1: 対象地域の河川整備にかかわる基礎的情報の整理

- (1) 河川整備にかかわる基礎的情報の整理
- (2) 都市整備上の問題点の河川整備面からの整理

ステージ2: 対象地域の河川整備との関連部分を中心とした都市整備案の構想

- (1) 都市整備目標の検討
- (2) 都市整備案の構想

ステージ3: 対象地域の河川整備面からの都市整備案の評価

- (1) 計画モデルの定式化
- (2) 計画モデルによる分析
- (3) 望ましい都市整備と総合的な治水計画化のための情報のとりまとめ

図-2 アプローチⅡの流れ

表-2 計画モデルの定式化の内容

(1) 評価関数 $y = \sum_{i=1}^m \{ H_i (a \cdot Z_{i1} + b \cdot Z_{i2} + c \cdot Z_{i3}) \} \rightarrow \min.$ ①	変数及び定数の定義
(2) 制約条件	1) 計画変数
a) 人口の制約 $dp_i = p_i / A_i \quad i=1,2,\dots,m$ ②	p_i, g_i, r_i : 地区 <i>i</i> の人口, 商品販売額, 工業出荷額, e_k : 汚水処理施設 <i>k</i> の規模, x_i : 地区 <i>i</i> の内水排除用ポンプの規模 ($i=1,2,\dots,m$), x_{m+1} : 河川水を外海へ排除するポンプの規模
$dp_i \geq dp_{i2} \quad i=1,2,\dots,m$ ③	2) その他の変数
$\sum_{i=1}^m p_i = P$ ④	y : 総被害被害額(家屋, 事業所関係の直接被害額の総和), H_i : 地区 <i>i</i> の浸水深(内水深), Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3} : 地区 <i>i</i> の家屋, 家財, 商業関係事業所, 工業関係事業所の各資産額, dp_i, dg_i, dr_i : 地区 <i>i</i> の人口密度, 単位面積当たりの商品販売額, 工業出荷額, pk, gk, rk : 汚水処理施設 <i>k</i> の処理区域の人口, 商品販売額, 工業出荷額, g_k : 汚水処理施設 <i>k</i> 付近の河川のBOD, H_0 : 外水位(河川水位)
$pt_k = \sum_{i=1}^m \delta_{ik} \cdot p_i \quad k=1,2,\dots,n$ ⑤	3) 定数
b) 商業活動の制約 $dg_i = g_i / A_i \quad i=1,2,\dots,m$ ⑥	a, b, c : 家屋, 家財, 商業関係事業所, 工業関係事業所の各資産の単位浸水深当たりの被害率, $dp_{i2}, dg_{i2}, dr_{i2}$: 地区 <i>i</i> の人口密度, 単位面積当たりの商品販売額, 工業出荷額の下限値, P, Q, R : 対象地域全体の人口, 商品販売額, 工業出荷額, δ_{ik} : 地区 <i>i</i> が汚水処理施設 <i>k</i> の処理区域に属する場合に1, 属しない場合に0となるような定数, A_i : 地区 <i>i</i> の面積, α_k : 汚水処理施設 <i>k</i> 付近の河川の平均流量, α, β, γ : 人口, 商品販売額, 工業出荷額当たりのBOD排水原単位, g_{ku} : 汚水処理施設 <i>k</i> 付近の河川のBODの上限值, f, t : 対象とする降雨の最大降雨強度, 降雨単位時間, S : 洪水時の河川上流からの流入量, L : 河川の水面積, H_B : 河川の水路底の標高, H_{0u} : 河川水位(外水位)の上限值, u, v, w : 人口, 商品販売額, 工業出荷額単位当たりの家屋, 家財, 商業関係事業所, 工業関係事業所の各資産額, X_{i2}, X_{i4} : 治水施設 <i>i</i> の規模の下限值, 上限値, E_{k2}, E_{k4} : 汚水処理施設 <i>k</i> の規模の下限值, 上限値, m : 地区の総数, n : 汚水処理施設の総数
$dg_i \geq dg_{i2} \quad i=1,2,\dots,m$ ⑦	
$\sum_{i=1}^m g_i = Q$ ⑧	
$g_k = \sum_{i=1}^m \delta_{ik} \cdot g_i \quad k=1,2,\dots,n$ ⑨	
c) 工業活動の制約 $dr_i = r_i / A_i \quad i=1,2,\dots,m$ ⑩	
$dr_i \geq dr_{i2} \quad i=1,2,\dots,m$ ⑪	
$\sum_{i=1}^m r_i = R$ ⑫	
$rt_k = \sum_{i=1}^m \delta_{ik} \cdot r_i \quad k=1,2,\dots,n$ ⑬	
d) 河川水質の制約 $g_k \leq g_{ku} \quad k=1,2,\dots,n$ ⑭	
$g_k = (\alpha \cdot pk + \beta \cdot g_k + \gamma \cdot rk - e_k) / \alpha_k$ ⑮	
e) 浸水深(内水深)の制約 $H_i = (f \cdot A_i - x_i) \cdot t / A_i \quad i=1,2,\dots,m$ ⑯	
f) 外水位(河川水位)の制約 $H_0 \leq H_{0u}$ ⑰	
$H_0 = (S - x_{m+1} + \sum_{i=1}^m x_i) \cdot t / L + H_B$ ⑱	
g) 資産額の制約 $Z_{i1} = u \cdot p_i \quad i=1,2,\dots,m$ ⑲	
$Z_{i2} = v \cdot g_i \quad i=1,2,\dots,m$ ⑳	
$Z_{i3} = w \cdot r_i \quad i=1,2,\dots,m$ ㉑	
h) 治水施設の規模の制約 $X_{i2} \leq X_{i3} \leq X_{i4} \quad i=1,2,\dots,m$ ㉒	
i) 汚水処理施設の規模の制約 $E_{k2} \leq e_k \leq E_{k4} \quad k=1,2,\dots,n$ ㉓	

される都市整備案に効果的に対応した内容を持つ総合的な治水計画の策定のための情報としてとりまとめることとする。

6. 和歌山市中心部地域を対象とした実証的分析(アプローチⅡ) 前述のような分析プロセスを和歌山市中心部地域における整備問題の事例に適用して実証的なシステム分析を行った。まず、当地域が現在かかえている問題を抽出し河川整備の側面からそれらの関連構造を整理した。その結果、都市整備の目標として土地利用の合理化、河川環境の改善、治水安全度の向上という3つの整備目標が挙げられることがわかった。また、これらの目標を達成するだけでなく都市基盤の整備や居住環境の改善もあわせて行ううえから、当地域で都市整備と河川整備を複合化した事業として市街地再開発を実施していく必要性も確認された。そこで、こうした目標を達成するような望ましい都市整備案を系統的に模索して求めていくために表-2に示すような計画モデルを定式化した。このような計画モデルによる具体的な分析の結果については講演時に議ることとする。

最後に、本研究を遂行するに当たり多大な御助力を賜った和歌山県土木部河川課、計画課、農林部耕地課の方々や共同研究を行った京都大学大学院の松原裕氏に心から感謝の意を表する。