

都市化流域の治水施設計画問題のシステム分析方法に関する考察

—ハイブリッド型計画モデルの適用をとおして—

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

京都大学大学院 学生員○渡邊 泰也

1. 本研究の概要

近年都市化流域においては水害の多発化・深刻化が問題となり、治水施設の早急な整備が必要とされている。しかし、都市化の進展にともなう行われるべき治水施設整備は社会的・経済的な理由により立ち遅れている状況であり、さらに流域内の競合関係の存在により治水施設計画問題がより複雑化している。このような状況をもとに、都市化流域においては効率的・重点的な治水施設整備計画を体系的に策定することが急務となっている。そのため、多発化・深刻化・複雑化等々、多くの問題を抱えている都市化流域における治水施設計画問題に対する合理的な分析方法の開発が求められている。

本研究においては、この様な都市化流域の治水施設計画問題に対して合目的でかつ効率的な分析方法をプロセスシステムとして構成し、計画問題をProblem Orientedな立場から総合的に分析する過程について考察し、これらを通して流域の治水施設整備計画を立案していくという方法の確立を目指して研究を行った。

2. 検討プロセスの概要

本研究では、都市化流域における治水施設計画問題の分析プロセスとして、図-1に示すような段階的なプロセスを提案した。まず「現況分析」において、既存の資料やデータ等を用いた分析や、洪水被害現象を記述するシミュレーションモデルの構築と、そのモデルを用いた分析を通して流域の治水計画上の特性を把握することにより、治水計画上の検討課題・問題点を抽出しとりまとめを行う。ついで「計画化のための分析」において、検討対象とする治水施設の選定や、シミュレーション実験をもとにした分析を通して都市化の進展や降雨パターンの変化による洪水被害現象に対する影響を把握するとともに、治水施設の計画代替案の設計におけるシナリオとしての都市化の将来予測と計画対

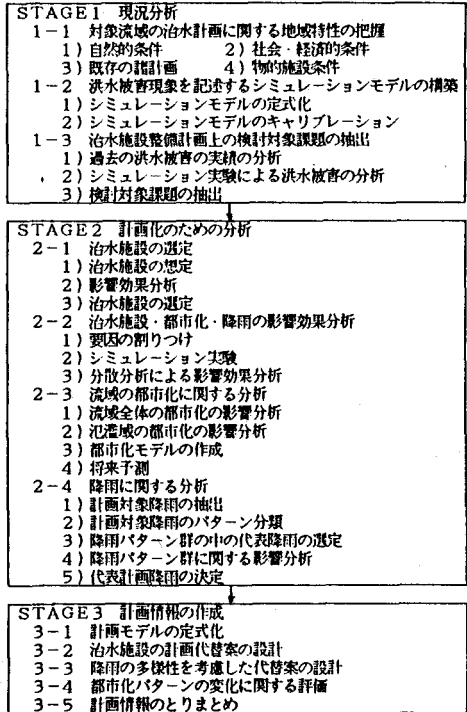


図-1 治水施設計画問題に対する検討プロセス

Kazuhiro YOSHIKAWA, Mamoru HARUNA, Yasunari WATANABE

象降雨を決定する。そして「計画情報の作成」において、ハイブリッド型計画モデルを用いた治水施設の計画代替案の設計を行い、ついで降雨や都市化の変化に対するその代替案の評価をとおして、最も効率的で有効な治水施設計画の代替案を求めるとともに、以上の分析結果を計画情報としてとりまとめる。このような段階的なプロセスを適用することにより、流域の特性に対応した治水施設計画を策定することをめざした。

3. ハイブリッド型計画モデルの概要

本プロセスの計画代替案設計において用いたハイブリッド型計画モデルの基本構成を図-2に示す。本モデルは一言でいうと、「洪水被害現象を再現するシミュレーションモデルからの各種代替案に対する応答出力を拘束条件とする数理計画モデル」であると表現できる。ここでの具体的なモ

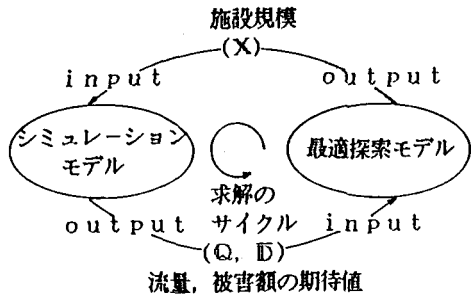


図-2 ハイブリッド型計画モデルの構成

デル動作は、「まず、シミュレーションモデルに治水施設系の規模 (X) を入力し、評価要因 (流量 Q, 被害 D) を出力する。次に、最適探索モデルによって、評価要因 (Q, D) の内容にもとづいて新たに改善された解 (X) を求める。そして、この新しい解を再びシミュレーションモデルに入力する。」という一連の動作を繰返しながら最適解に到達しようとするものである。

そして、ここでは過去の研究^{1), 2)}の成果にもとづいて、このモデルで用いるシミュレーションモデルは図-3に示すモデルとすることとし、最適探索モデルで用いる最適化手法としてはコンプレックス法を採用した。

4. 実証分析

本研究では、先に述べたプロセスに従って、猪名川流域を対象とした実証的な分析を行った。

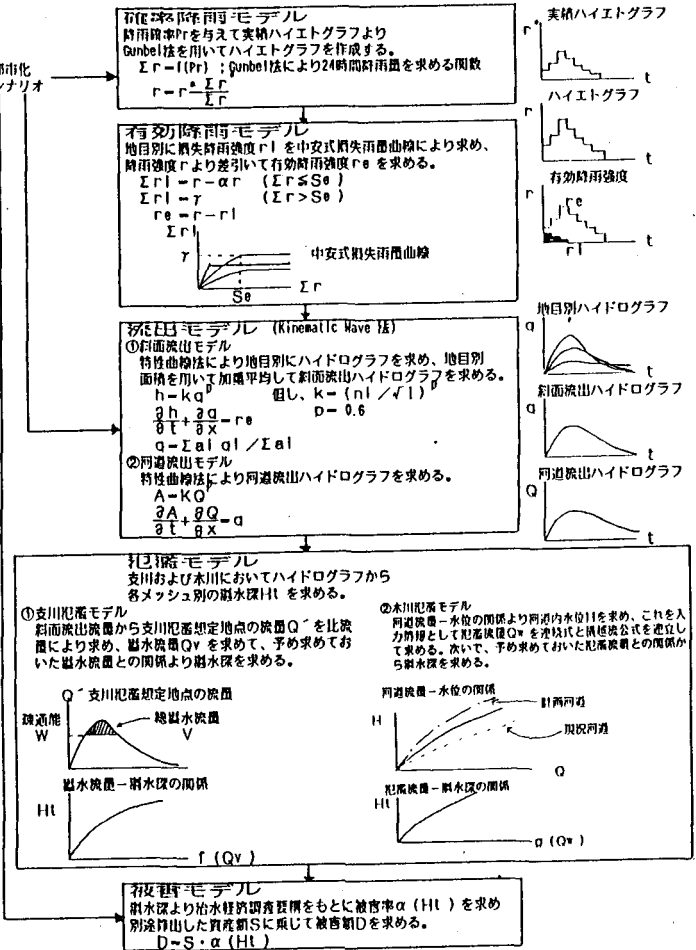


図-3 シミュレーションモデルの概要

①STAGE1（現況分析） 既存のデータや資料を用いた1次分析により、本研究で対象とする猪名川流域における流域の特性を把握するとともに、降雨－流出－氾濫－被害という一連の現象を再現するシミュレーションモデルを構築し、これを用いた分析を行うことにより、当流域の治水計画上の問題点を整理し、検討対象課題を抽出した。

②STAGE2（計画化のための分析） まず計画対象とする施設を、既存の計画やその効果の大きさにより選定した。ついで、治水施設計画に影響を与える要因である都市化の進展や降雨パターンの変化に対する影響分析を行った。具体的には、複数の都市化や降雨のパターンに対するシミュレーション実験を行

表-2 降雨パターン別シミュレーション実験結果

い、その違いによる洪水被害現象の変化を把握した。この結果の一部を表-2・図-4・図-5に示すこととするが、本流域においては、降雨パターンの違いにより洪水被害現象が大きく変化すること、さらに「降雨の多様性を考慮した治水施設」の必要性等々が明らかになるとともに、流域の都市化が流出機構に与える影響は僅かであることなど、興味深い分析結果を得た。そして、つぎの治水施設の計画代替案の設計におけるシナリオとしての都市化の将来予測を行うとともに、一つの代表計画降雨と複数の計画対象降雨を選定した。

③STAGE3（計画情報の作成） 以上の分析の結果、本研究では治水施設整備の基本方針を、「降雨の違いによる洪水被害現象の変化を考慮するとともに、治水安全度の

降雨日時	土地利用状況（現況）			降雨パターン
	多田地区の被害額の期待値	川西・池田地区の被害額の期待値	支川地区の被害額の期待値	
36年 9月16日	7605	22241	4530	1-1
60年 6月24日	384	309	7	1-2
42年10月26日	4429	6240	3	1-3
53年 6月15日	7539	17259	552	2-1
28年 9月24日	5908	10370	30	2-2
43年 8月28日	11804	27562	18	2-2
53年 9月15日	5187	15362	2124	3-1
54年 9月30日	8952	17601	1707	3-2
47年 9月16日	4371	14516	245	3-3
57年 7月31日	4424	8064	266	3-3
50年 8月 6日	316	1629	1376	4-1
32年 6月26日	2257	5313	2396	4-2
42年 7月 8日	1840	3318	960	4-3
55年10月18日	590	1163	175	5-1
44年 6月25日	1988	4063	623	5-2
50年 8月22日	2959	9175	2224	5-3
51年10月 8日	487	627	2926	6-1
50年 7月 3日	4133	8413	1958	6-2
40年 5月26日	539	910	118	6-3
34年 9月26日	5626	16751	18	7-1
35年 6月21日	1960	1686	0	7-2
35年 8月29日	1805	1249	1	7-2
34年 8月12日	629	187	29	8-1
47年 7月11日	2373	3959	93	8-2
41年 9月17日	2632	4846	166	8-3
58年 9月14日	4457	7584	142	8-3

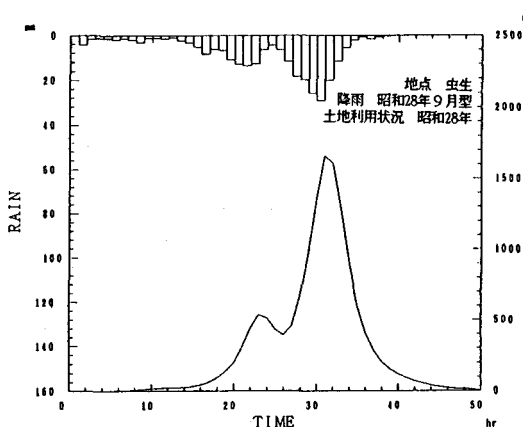


図-4 土地利用状況の変化によるハイドログラフ
（ケース1：土地利用状況 昭和28年）

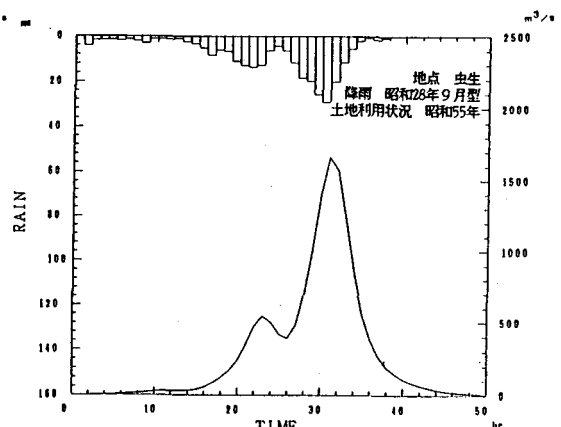


図-5 土地利用状況の変化によるハイドログラフ
（ケース2：土地利用状況 昭和55年）

地域的な不均等を是正しつつ流域の治水安全度の確保・向上をめざした治水施設整備を行なうこと。」のように設定した。

そこでまず、一つの代表計画降雨に対して図-6に示す計画モデルを用いて治水施設の代替案を求めた。(表-3)この計画モデルでは、各地区の被害額の期待値と分派地点の流量をシミュレーションモデルの出力値より求めるハイブリッド型計画モデルとして定式化した。ついで、この求められた代替案をもとにして他の降雨にも有効な効果を持つように代替案を改善することとした。ここでは、代表降雨に対して得られた治水安全度(各地区の被害額の期待値の最大値)を他の計画対象降雨に対しても得られるように代替案を逐次改善することにより、「降雨の多様性を考慮した代替案」の設計を行い、最終的に有効な代替案を表-3のように設計した。この代替案の各計画対象降雨に対するシミュレーション実験結果を図-7に示す。

このような実証分析を通して本研究で提案した検討プロセスを用いることにより、有効な治水施設計画案を最終的に得ることができたことがわかった。しかし、まだまだ今後検討していくべき課題は多く、これらの課題を克服し、より完成度を高めていくことが必要であると考えている。

最後に、共同研究を行った田井中靖久(京都大学大学院)に対し感謝の意を表します。

目的関数

$$\text{MAX} (\overline{D} | (f_j^i(a)) \longrightarrow \min$$

$I \in \Omega \quad \Omega = (\text{地域} I \text{ の集合})$

制約条件

- 治水安全度確保のための制約

$$D | (f_j^i(a)) \leq \overline{D} | (f_j^i(a))$$
- 下流の破堤防止のための制約

$$Q | (f_j^i(a)) \leq W$$
- 総費用の制約

$$\sum_{j=1}^n c_j = C$$
- 治水施設規模の制約

$$c_{jL} \leq c_j \leq c_{jU}$$

$\overline{D} |$: 地域 I の被害額の期待値
 Q, W : 分派地点ピーク流量および疎通能
 f_j^i : 治水施設 j の規模による費用関数
 C : 総費用
 c_{jL}, c_j, c_{jU} : 治水施設 j の投資額及びその上下限
 e : 治水施設整備の投資額の組合せ
 e_0 : 現況の治水施設整備の投資額の組合せ

注) $\overline{D}, Q$ はシミュレーションモデルよりの出力値

図-6 計画モデルの定式化

表-3 設計した代替案(各施設への投資額)

	猪名川 ダム	多田 遊水池	多田改修	川西池田 改修	支川改修
代表計画降雨に 対する代替案	4405.0 (1350.9)	0.0 (0.0)	9161.0 (1058.8)	11636.5 (1850.8)	4797.5 (1.00)
最終的な代替案	14375.0 (1093.4)	0.0 (0.0)	8725.0 (980.5)	10695.0 (1641.9)	9455.0 (1.83)

(単位 100万円)
 () は、施設規模であり、猪名川ダムでは放流量(m³/s)、多田遊水池では貯水容量(m³)、多田、川西池田改修では疎通能(m³/s)、支川改修では疎通能倍率を示す。

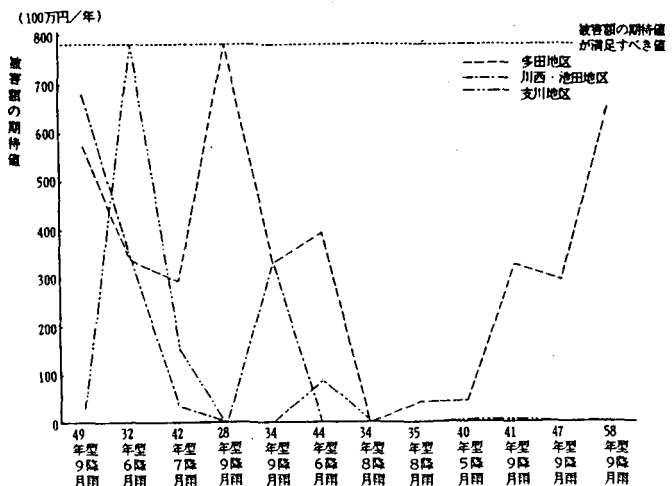


図-7 代替案の各降雨別シミュレーション実験結果

参考文献

- 吉川、春名、多々納、渡邊：シミュレーションモデルを組み込んだ最適化モデルによる治水計画代替案設計に関する研究、土木学会関西支部年次学術講演概要、1985.5
- 吉川、春名、渡邊、田井中：ハイブリッド型計画モデルの解法に関する研究、土木計画学研究・概要集、1986.11
- 吉川、春名、渡邊、田井中：計画降雨パターンを考慮した治水施設計画問題に関する実験的考察、土木学会関西支部年次学術講演概要、1987.4