

降雨パターンを考慮した治水施設計画の方法に関する研究

A Study on a Planning Method of Flood Control Facilities in
Consideration of Various Rainfall Pattern.

**

吉川 和弘
By Kazuhiro YOSIKAWA,

春名 政
Mamoru HARUNA

田井中靖久
Yasuhisa TAINAKA

Recently the safety factor for the damage by floods has become the serious problem at urbanized basin area, since the metropolitan area has developed so rapidly without sufficient construction of infrastructural facilities.

To obtain sufficient safety level against floods in these urbanized basin area, it is necessary to develop comprehensible planning method for construction project of flood control facilities.

The Hybrid planning model has studied in order to solve this type of planning problem utilizing mathematical planning model combined with run-off simulation model by our research group. Aiming at developing this method to solve more practical problems effectively, in this study a devised planning method of flood control facilities in consideration of various rainfall pattern is studied.

This method developed there was made sure to be effective practically in urban basin area.

1. はじめに

高度経済成長期以降の進展した都市化地域への急激な人口・資産の集積は、さまざまな都市問題を引き起こしてきた。その中でも、近年の都市河川流域における水害の発生危険度の増大に伴い、『流域の特性を考慮しつつ、いかに合理的・効率的に治水施設を整備していくか』は治水防災の上で重要な問題としてクローズアップされるにいたっている。

そこで本研究は、都市河川流域における治水施設

* キーワーズ：治水計画、降雨パターン

ハイブリッド型治水計画モデル

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区古田本町)

*** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (同上)

**** 学生会員 京都大学工学研究科交通土木工学専攻 (同上)

の配置・規模決定問題を具体的な研究対象として取り上げ、この問題を検討する中核的ツールである治水施設整備モデルをハイブリッド型治水計画モデルとして定式化した。そして都市河川流域において治水安全度を確保するのに重要であると考えられる『降雨の変化』の及ぼす影響を中心に検討を行い、降雨パターンの変化を考慮した治水施設計画の代替案の合理的・効率的な設計方法の開発を試みるとともに、猪名川流域を対象として、本方法の実証的な検討を行ない、その有効性の検討を行なった。

2. ハイブリッド型治水計画モデルの構成と概要

治水施設計画モデルにおいては、水理現象を的確にとらえつつ、流域の治水安全度を的確に向上させていく必要がある。そこで本研究においては、洪水被害現象の再現(現象合理性の確保)を行なうシミュレーションモデルと、計画目的を追究(目的合理性の追究)を行なう最適探索モデルとを混成して、

図-1に示すようなハイブリッド型計画モデルの構成を行なった。すなわち、目的関数として、治水施設系の規模(X)を変数とする対象地域の各地区の被害額の期待値の最小化を想定するとともに、制約条件として、対象地域より下流域の流量群(Q)や目的関数値群(D)を想定しつつ、シミュレーションモデルで保証される精度の範囲内で、現象合理的でかつ目的合理的な解を求めることによって計画代替案を設計するモデルである。

具体的に、ハイブリッド型治水計画モデルの動作を述べると、以下のようである。まず、シミュレーションモデルに治水施設系の規模(X)を入力して、評価要因{流量Q, 被害D}を出力する。次に、最適化手法によって評価要因(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。

このため、モデルの動作に基因して多数回のシミュレーション実験を繰返す必要があることから、本モデルが実用的価値を得る(高いモデル操作性を有する)ためには、混成化されるシミュレーションモデルは、分析に求められる精度の範囲内であれば、できるだけ計算時間の短いモデルであることが望ましい。このよ

うな要件を考慮して、本モデルで用いるシミュレーションモデルは、①洪水被害現象を計画目的に適合した精度で合理的に再現すること、②入出力の関係が確定的でありかつ代替案が比較的簡単な数量とし

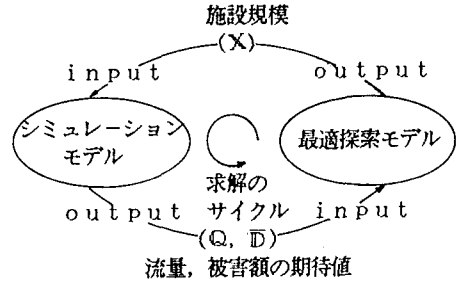


図-1 ハイブリッド型治水計画モデルの構成

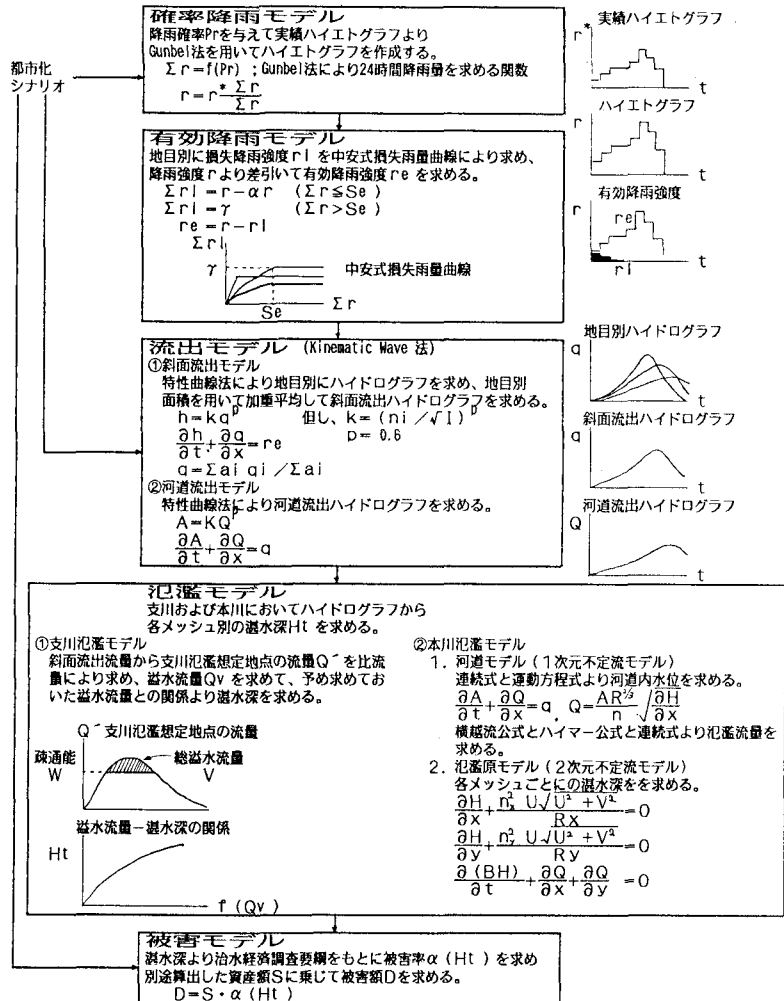


図-2 シミュレーションモデルの概要

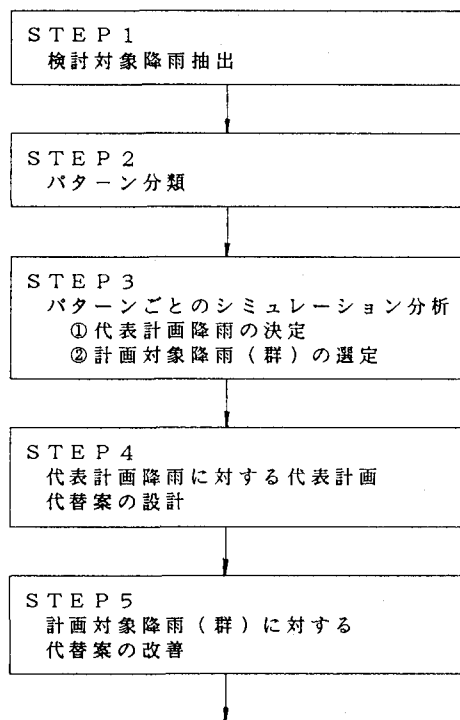
て表現できること、③比較的計算時間の短いシミュレーションモデルであること、等々の条件を満足するように総合的に勘案して、図-2に示すようなシミュレーションモデルを構成した。

ここで、このシミュレーションモデルの一連の動作を示すと以下のである。まず、降雨確率・降雨波形を入力情報として確率降雨モデルによりハイトグラフを求める。次いで、有効降雨モデルではこれを入力情報として中安式損失雨量曲線を用いて損失雨量を求め、これを降雨量から差引いて有効降雨を求める。流出モデルではこれを入力情報としてKinematic Wave法によって各地点の流出ハイドログラフを求める。そして、氾濫モデルではこのハイドログラフをもとにして横越流式によって氾濫流量を求め、2次元不定流計算で求められた結果より算出した氾濫流量と湛水深の関係に従って各メッシュ毎の湛水深を算出する。被害モデルでは、氾濫モデルで求められた湛水深と、都市化シナリオより与えられる土地利用データにもとづいて得られたメッシュ内の資産額とを入力情報とし、治水経済調査要綱による被害率を適用して被害額を求める。このようにして求めた被害額と降雨確率により被害額の期待値を算出するのである。なお、このモデルは全体として決して精度の高いモデルであるとは断言できないが、データの精度や最適探索モデルの最適化手法の探索の精度を勘案すると十分適用可能であると確認した上で用いることとした。

一方、ハイブリッド型治水計画モデルの最適探索モデルで用いる最適化手法は、目的関数値や制約条件値がシミュレーションモデルの出力値であること等々の特徴より、①関数形が明らかでない問題に対応できること、②制約条件を考慮できること、③シミュレーションモデルのアクセス回数が少ないこと、等々の要件を満足する探索型手法でなければならない。よって本研究においては、実際の治水施設整備の計画問題の分析に用いる最適探索モデルの最適化手法としては、上述の条件を勘案してコンプレックス法を用いることとした。

3. 降雨パターンを考慮した治水施設計画における代替案の設計方法

先述したようにハイブリッド型治水計画モデルは、目的関数に表わされている評価値や制約条件値に関わる各値を、シミュレーションモデルを用いて求めるため、数学モデルとして表わされる一般形の非線形問題以上に困難な問題であると考えられる。また、



降雨の変化を考慮した代替案

図-3 治水施設計画代替案の設計プロセス
一般に非線形問題を解く場合には局所解の存在という面倒な問題があり、全域的な最適解を少数の探索によって得られるという絶対的な保証がない。

そこで代替案の設計に際しては、シミュレーションの出力結果の動向を的確に把握し、最適解に出来るだけ効率的に接近していく方法を用いることが必要である。さらに、ハイブリッド型計画モデルでは現象モデルとしてシミュレーションモデルを用いるので、探索の効率化をはかるためにはシミュレーションモデルとのアクセス回数を減らすことが、求解のための計算の効率化のために重要なことであるといえる。特に、実証検討で取上げるにおけるシミュレーションモデルは決して小規模なものでなく、大域的な最適解を求めるためには、多大な計算を覚悟しなければならぬために、計算効率上の工夫を行なうことが必要である。また、いろいろな降雨パターンに対して治水安全度を確保する治水施設を構築する必要があるため、複数の降雨を合理的・効率的に考慮できる方法をとる必要がある。このため、本研究では図-3に示す検討プロセスを採用すること

とした。すなわち、まず対象流域の降雨の中から検討対象降雨を抽出しつつこの検討対象降雨をパターン分類する。そして各パターンごとのシミュレーション分析を行ない、計画対象降雨（群）を選定するとともに代表計画降雨の決定を行ない、代表計画降雨に対する代表計画代替案の設計を行なう。そして最後に計画対象降雨（群）に対する代替案の改善を行ない、降雨パターンの変化を考慮した代替案を設計する方法である。特に計画対象降雨（群）に対する代替案の改善は、いろいろな降雨パターンに対して一定の治水安全度を確保する治水施設を合理的・効率的に構築する上で欠くことの出来ないものであり、そのプロセスを図-4に示した。

すなわち代表計画代替案の計画対象降雨（群）に対するシミュレーション実験を行ない、治水安全度が代表計画降雨よりも低い降雨を選定しそれら降雨に対して順序付けを行なう。ついでそれら降雨に対して代表計画降雨の治水安全度を確保するような代替案を順次作成し、その代替案が代表降雨とそれまでに検討した降雨に対して代表計画降雨の治水安全度を確保しているかを検討する。そして選定されたすべての降雨に対してそのようなプロセスを順次行なうことを通して、いろいろな降雨パターンに対して一定の治水安全度を確保する治水施設を合理的・効率的に構築する方法である。

4. 猪名川流域を対象とした実証的検討

(1) 当流域の概要と分析のシナリオ

本研究では、大阪府と兵庫県境を流れる淀川の一支出である猪名川流域（図-5）を対象として、実証的検討を行なった。猪名川流域は、都市化の進展によって治水安全度が低下しているにもかかわらず、都市化の進展に比して治水施設の整備が遅れて

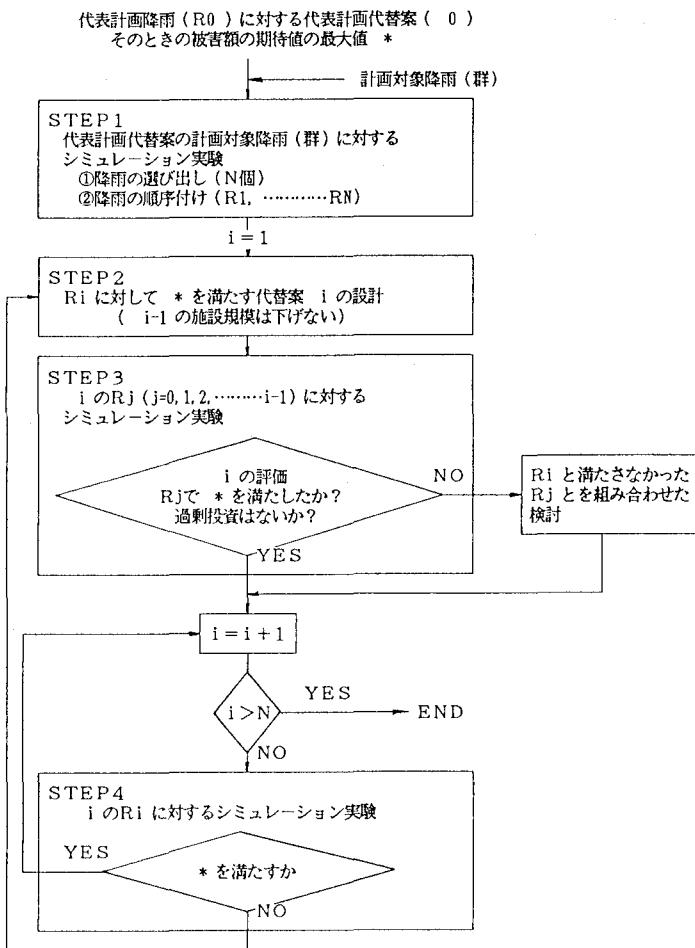


図-4 降雨パターンの変化に対する代替案の改善プロセス

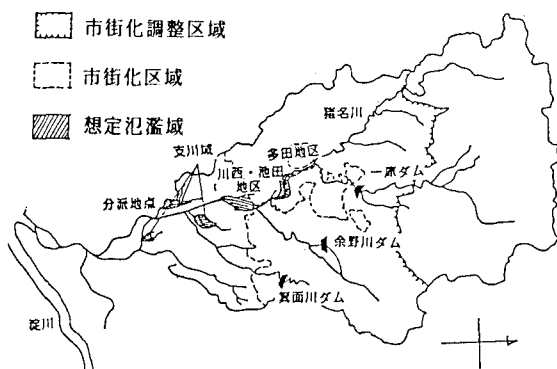


図-5 猪名川流域の概要

いる流域である。本流域における治水施設整備計画上の問題点を上げると以下ようになる。

まず、①今後も流域の都市化の進行が予想され、将来的に流域全体を通して、治水安全度の低下を招

目的関数	$\text{MAX } (\overline{D_i}(f_j^*(a))) \longrightarrow \text{min}$ $i \in \Omega \quad \Omega = (\text{地域 } i \text{ の集合})$
制約条件	1. 治水安全度確保のための制約 $\overline{D_i}(f_j^*(a)) \leq \overline{D_i}(f_j^*(a_*))$ 2. 下流の破堤防止のための制約 $Q(f_j^*(a)) \leq W$ 3. 総費用の制約 $\sum_{j=1}^n c_j = C$ 4. 治水施設規模の制約 $c_j \leq c_j \leq c_j$
	$\overline{D_i}$: 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 : 治水施設 j の規模による費用関数 c_j : 総費用 c_j, c_j, c_j : 治水施設 j の投資額及びその上下限 c_j : 治水施設整備の投資額の組合せ c_j : 現況の治水施設整備の投資額の組合せ
注)	$\overline{D_i}, Q$ 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

く恐れがあること、つぎに②都市化に伴い、農地確保等が困難になりつつあり、効率的重点投資を行って治水安全度の確保・向上を図る必要があること、さらに③多田地区と川西・池田地区および一部支川流域は、流域内の他の地域（多田地区より下流）と比較して、治水安全度が低く、特に多田地区では最小疎通能 200m³/sと著しく治水安全度が低い。これらの地区はいずれも早急な改善が必要であるが、多田地区と川西・池田地区は、鼓ヶ滝狭窄部を挟んで、それぞれ上下流に位置し、両地区間に治水施設整備をめぐって競合関係が生じており、コンフリクトを解決し、合意の得られる整備案の策定が望まれること等々である。

そこで、本研究においては治水施設整備の基本方針を、『流域の継続的な都市化の想定のもとで、治水安全度の地域的な不均等を是正しつつ、いろいろな降雨パターンに対して流域の治水安全度の確保・向上をめざした施設整備を行なうこと。』のように設定した。

そして本研究では、当流域の治水施設の配置・規模決定問題を、被害額の期待値を評価尺度とする費用制約下の最大成分最小化問題として規定し、図-6のように定式化した。ここで、また目的関数としては、①多田地区の被害額の期待値、②川西・池田地区の被害額の期待値、③支川流域の被害額の期待値の3種類を想定し、制約条件としては、(a) 治水

表-1 分散分析の要因の割付け

要因	水準	内容
A	1	現況
	2	中間
	3	計画規模
B	1	パターン 1
	2	パターン 2
	3	パターン 3
C	1	パターン 1
	2	パターン 2
	3	100%市街化
D	1	後方集中 28年 9月型降雨
	2	中央集中 32年 6月型降雨
	3	前方集中 47年 9月型降雨
E	1	全 域 一 定
	2	上 流 集 中
	3	下 流 集 中

(注: パターン 1 では、市街化率は市街化区域で年率 2.5% 市街化調整地域で年率 0.25%
 パターン 2 では、市街化率は市街化区域で年率 5.0% 市街化調整地域で年率 0.50%
 パターン 3 では、市街化率は市街化区域で年率 10.0% 市街化調整地域で 0.1%である。)

表-2 分散分析結果 (川西・池田地区)

	S	V	F	NS	p
A	0.1402E+10	0.7008E+09	0.3324E+03	0.1400E+10	0.4526E+00
B	0.5799E+05	0.2900E+05	0.1375E-01	—	—
C	0.1771E+06	0.8856E+05	0.4200E-01	—	—
D	0.5995E+09	0.2997E+09	0.1422E+03	0.5974E+09	0.1932E+00
E	0.1483E+09	0.7417E+08	0.3518E+02	0.1462E+09	0.4729E-01
AB	0.9541E+05	0.2385E+05	0.1131E-01	—	—
AC	0.2105E+06	0.5264E+05	0.2497E-01	—	—
AD	0.6076E+09	0.1519E+09	0.7205E+02	0.6055E+09	0.1958E+00
AE	0.2084E+09	0.5210E+08	0.2471E+02	0.2063E+09	0.6671E-01
BC	0.1903E+08	0.4758E+07	0.2257E+01	0.1693E+08	0.5473E-02
BD	0.3762E+05	0.9405E+04	0.4461E-02	—	—
BE	0.5745E+04	0.1436E+04	0.6812E-03	—	—
CD	0.9176E+05	0.2294E+05	0.1088E-01	—	—
CE	0.3396E+05	0.8490E+04	0.4027E-02	—	—
DE	0.4378E+08	0.1095E+08	0.5192E+01	0.4168E+08	0.1348E-01
誤差	0.6325E+08	0.2108E+07	0.1000E+01	0.6114E+08	0.1977E-01
F	* (1.0)=3.20	* (0.5)=5.10	* (1.0)=2.57	* (0.5)=3.76	

S: 変動 V: 分散 F = S / (V * d f) NS: 純変動
 p: 寄与率
 A: 施設 B: 流域の都市化 C: 氾濫域内の都市化
 D: 降雨の時間分布 E: 降雨の空間分布

表－３ 降雨パターンの分類

降雨パターン	降雨の空間分布	降雨の時間分布	個数	代表降雨
1-1	本川上流域・余野川流域で降雨が多い	前方集中型	4	36年 9月16日
1-2		中央集中型	6	60年 6月24日
1-3		後方集中型	4	42年10月26日
2-1	本川上流域・一庫大路次川流域で降雨が多い	中央集中型	3	53年 6月15日
2-2		後方集中型	2	28年 9月24日 43年 8月28日
3-1	一庫大路次川流域・余野川流域で降雨が多い	前方集中型	1	53年 9月15日
3-2		中央集中型	7	54年 9月30日
3-3		後方集中型	4	47年 9月16日 57年 7月31日
4-1	本川下流域・余野川流域で降雨が多い	前方集中型	1	50年 8月 6日
4-2		中央集中型	6	32年 6月26日
4-3		後方集中型	4	42年 7月 8日
5-1	余野川流域で降雨が多い	前方集中型	1	55年10月18日
5-2		中央集中型	4	44年 6月25日
5-3		後方集中型	5	50年 8月22日
6-1	本川下流域で降雨が多い	前方集中型	1	51年10月 8日
6-2		中央集中型	3	50年 7月 3日
6-3		後方集中型	6	40年 5月26日
7-1	本川下流域で降雨が少ない	中央集中型	4	34年 9月26日
7-2		後方集中型	2	35年 6月21日 35年 8月12日
8-1	流域で平均的に降雨がある	前方集中型	6	34年 8月12日
8-2		中央集中型	9	47年 7月11日 41年 9月17日
8-3		後方集中型	13	58年 9月14日

安全確保のための制約条件、(b) 下流の破堤防止のための制約条件、(c) 総費用の制約条件、(d) 治水施設規模の制約条件の４種類を想定した。また、費用制約下の問題であるから費用と効果の關係に着目し、予め費用に対する効率を求めておくことが有効であると考えられるので、本研究では施設規模を各施設への投資額で表現することとした。

また、治水施設としては、工事実施計画等をもとにして、実行可能性を考慮して、(A) 猪名川ダム、(B) 多田遊水地、(C) 多田地区の河道改修、(D) 川西・池田地区の河道改修、(E) 支川流域の河道改修を想定した。

また、治水施設整備計画策定に対して大きな影響を及ぼすと考えられる降雨パターンの変化が、どの程度洪水被害現象に影響を与えるかを、表－１に示すような要因の割り付けによる分散分析を用いて検討した。その結果、目的関数である被害額の期待値や制約条件である分派地点の流量に対して、各施設の規模について降雨の空間的・時間的変化が大きな

表－４ 代表降雨のシミュレーション実験結果

降雨日時	土地利用状況（現況）			降雨パターン	降雨の引き伸ばし倍率
	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	○

(注：生起確率1/200 年に引き伸ばした場合の引き伸ばし倍率において、○は 2.5倍以内、△は 3倍以内、×は 3倍以上である。)

影響を与えていることが明らかとなった（表－２）。

以上のような前提・結果のもとで、図－３に示したプロセスに従ってハイブリッド型治水計画モデルを用いて、当流域における降雨パターンの変化を考慮した治水施設計画の代替案の設計を行なった。

(２) いろいろな降雨パターンに対する検討

まず昭和25年から昭和61年までの36年間の降雨の中から降雨観測地点の半数以上で50mm³の降雨のあった97降雨を検討対象降雨として抽出した。ついで降雨の空間的・時間的分布にもとづいて、クラスター分析を用いて降雨パターンの分類（表－３）を行ない、総降雨量を考慮して各降雨パターンの代表降雨を決定した。そして、各代表降雨の現況に対するシミュレーション実験結果と降雨の引き伸ばし倍率（表－４）より、計画対象降雨として降雨の引き伸ばし倍率が 2.5倍以内の12降雨を選定した。そしてその選定された12降雨の中からシミュレーション実験による現況分析の結果を考慮して47年 9月型降雨を代表計画降雨とすることとした。

表－５ 代表計画代替案（総費用 300億円）

300億	猪名川 DUM	多田 遊水地	多田 改修	川西・池田 改修	支川 改修	総投資 費額	目的 関数値	各地区の被害額の期待値			流量
								多田地区	川西・池田地区	支川地区	
								(単位 100万円)	(単位 100万円/年)	(単位 m ³ /s)	
近似曲面上の解	3262.56	0.00	9686.16	12037.80	4924.09	29910.61	—	—	—	—	—
近似曲面上の解のシミュレーション	(1384.61)	(0.00)	(1166.25)	(1936.11)	(1.02)	29910.61	736.87	597.86	736.87	317.02	2690.09
ハイブリッド型計画モデルの初期解	3250.00	0.00	8700.00	11450.00	4797.47	—	—	—	—	—	—
	(1385.00)	(0.00)	(967.80)	(1811.64)	(1.00)	28197.47	1446.68	1027.74	1446.68	394.97	2591.28
ハイブリッド型計画モデルによる解	4512.32	2.06	9163.64	11534.00	5084.95	—	—	—	—	—	—
	(1356.35)	(85.41)	(1059.36)	(1829.21)	(1.04)	29999.97	840.06	646.65	840.06	299.84	2595.63
解近傍の改善値	4405.00	0.00	9161.00	11636.52	4797.47	—	—	—	—	—	—
	(1350.86)	(0.00)	(1058.84)	(1850.75)	(1.00)	29999.99	779.69	641.43	779.69	394.97	2599.81

表－６ 改善検討対象降雨のシミュレーション実験結果

	猪名川 D A M	多田遊水地	多田改修	川西・池田 改修	支川改修	総投資額	各地区の被害額の期待値			流量
							多田地区	川西・池田地区	支川地区	
							(単位 100万円)	(単位 100万円/年)	(単位 m ³ /s)	
47年 9月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	571.61	677.23	29.54	2233.07
32年 6月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	334.52	354.15	779.18	2599.94
42年 7月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	288.92	34.01	151.17	2356.89
28年 9月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	779.02	0.00	0.19	1794.20
34年 9月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	332.08	333.07	0.22	2125.16
44年 6月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	395.22	0.00	88.97	2298.55
34年 8月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	0.00	0.00	0.00	1299.88
35年 8月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	42.96	0.00	0.00	1539.76
40年 5月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	44.09	0.00	4.75	1820.56
41年 9月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	327.73	0.00	5.85	2160.29
47年 7月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	297.23	0.00	1.43	1840.26
58年 9月型降雨に対する結果	14375.00 (1087.72)	0.00 (0.00)	8725.00 (927.67)	10695.00 (1656.91)	9455.00 (1.83)	43250.00	650.57	0.00	5.73	1913.76

（注：（ ）は施設規模であり、施設1では放流量（m³/s）を、施設2では貯水容量（m³）を、施設3、4では疎通能（m³/s）を、施設5では疎通能倍率を表している。）

そこで47年 9月型降雨を用いて、代表計画代替案の設計を行なうとともに、総費用をパラメータとするパラメトリック分析を行ない、その一部を表－５に示した。

（３）いろいろな降雨パターンによる計画代替案の変化

（２）で求められた代表計画代替案のうち、総費用を考慮して総費用 300億円の場合について、いろいろな降雨パターンに対して一定の治水安全度を確保するような計画代替案を求めるために、図－４のプロセスにしたがって、代替案の改善を行なうこととした。

そこでまず代表計画代替案の計画対象降雨に対す

るシミュレーション実験（表－６）を通して、代表計画降雨の治水安全度を確保していない 6降雨を、降雨パターンを考慮した代替案の改善検討対象降雨とした。ついでその 6降雨について評価値である多田地区、川西・池田地区、支川流域の被害額の期待値の最大値を判断基準として、順序付けを行なった。そしてその順序に従って、代表計画降雨の治水安全度を確保するような代替案を順次作成し、その代替案が代表降雨とそれまでに検討した降雨に対して、代表計画降雨の治水安全度を確保しているかの検討を行なった。そして改善検討対象 6降雨すべてについて、上述したプロセスで検討を行ない図－７に示すような結果を得た。図－７に示した結果より、ま

ず昭和32年 6月型降雨を対象とした改善では、分派地点流量と支川地区の被害が制約を犯していたため、猪名川ダムと支川改修に対して大幅な増加投資をすることとなった。また、このダムへの投資によりダムより下流の流下流量が減少し、これによってダムより下流に位置する多田地区、川西・池田地区の治水安全度が向上し、同様な期待値を確保するための両地区の改修に対する投資を減少させることが可能となった。つぎの昭和28年 9月型降雨を対象とした改善では、多田地区が制約を犯したため多田地区改修への増加投資が必要となった。そしてこの多田地区改修が進むことにより、このために猪名川ダムや川西・池田地区改修に対しても増加投資が必要となったものである。以上のような考察の結果、図-4のプロセスを通して求められた代替案は妥当なものであると判断した。

また最初の昭和32年 6月型降雨を対象とした改善においては、総増加投資額が126億円であり代替案が大幅に変更されたが、それ以降はほとんど変化がなく昭和28年 9月型降雨について多少の変更がなされただけであった。このことは、最初の計画代表降雨の選定が的確であること、図-4に示したプロセスを用いたことに起因していると考えられる。よって図-4に示したプロセスは、いろいろな降雨に対して一定の治水安全度を確保する治水施設を整備していく上で大変有効な方法であると判断した。そして図-4に示したプロセスを用いたハイブリッド型計画モデルによる計画代替案の設計方法は、治水施設整備計画問題における治水施設の配置規模決定問題に対して有効な方法であること判断した。

5. おわりに

本研究では、都市河川流域の治水施設整備計画における降雨パターンを考慮した計画代替案設計の方法論の開発研究を行った。

しかし今後に残された課題は、数多くあり以下のような事項が挙げられる。まず①『降雨の変化』に関して、降雨の空間的分類に対する取扱いが不十分であること、②降雨の引き伸ばしに関して、年超過確率で用いる降雨量が、24時間・48時間等でしか求められていない等によって引き伸ばし率が大い降雨が数多く見られること、③計画対象降雨に対する

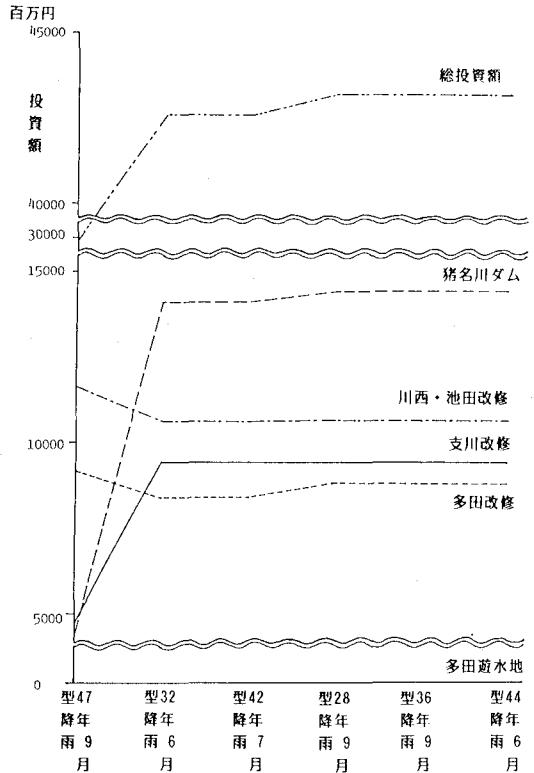


図-7 降雨パターンによる代替案の変化

代替案の改善に関して、モデルの運用方法や計画降雨の取り扱いについて、検討を加えておく必要があること、等々が考えられる。今後は、これらの課題を克服するように研究の発展、充実に計りたいと考えます。

最後にこの研究を進めていくにあたり京都大学大学院で共同研究を行ってきた多々納 裕一氏（島根県）、渡邊 泰也氏（神奈川県）、資料の提供や適切な助言を賜った建設省近畿地方建設局猪名川工事事務所調査第一課の町野健次課長、福地宣太郎氏、隣建設技術研究所岡田耕部長、金光泰秀氏、西田良夫氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉川和広, 春名攻, 多々納裕一: 都市化流域における治水のモデル分析、土木計画学研究・論文集、1985
- 2) 吉川和広, 春名攻, 渡邊泰也: ハイブリッド型計画モデルの治水施設整備計画への適用に関する研究—都市化流域を対象として—、第31回水理学講演会論文集、1987