

下流への影響を考慮した河道改修規模決定モデル分析 Model Analysis for Project Scaling of River Improvement

憐 日 水 コ ン * 正 員 萩 原 良 巳
憐 日 水 コ ン 正 員 中 川 芳 一
憐 日 水 コ ン 正 員 蔵 重 俊 夫

1. はじめに

治水を目的とする河道改修事業では治水手段、治水規模及び施設の空間的配置が決定すべき計画諸元となる。このうち、治水規模は現在のところ工事実施基本計画にもとづいた計画高水流量までは流域全区間を防御することが最終目標とされている。ところが一般的に背後地の資産の集積状況や社会・経済的な重要度による事業の公共性の濃淡、さらには財政面の制約、内外水のバランスの問題などから、一挙に最終目標に到達することは困難な状況にある。この場合、暫定的に実現可能と思われる規模を設定して改修を行なっていく方法が常套手段として用いられることが多いが、吉井川・由良川・肱川などに代表される上流域の盆地部が市街化されているような河川では、下流側とのバランスをいかに考慮して締切りを行なっていくかといった問題が特に重要な課題としてクローズアップされている。本稿はこのような河道改修事業の規模決定問題に対し、治水効果の上下流域のバランス関係に着目した意思決定支援モデルを提案するものである。すなわち、ある一定の事業費を流域各地点に配分する場合、事業の公共性から流域全体としての被害額を最小化することが第1義的評価基準であるとしても、常にある一定の地区のみ被害を被る状況であれば、社会的にみて妥当な事業とはいえないであろう。従って流域全体としての被害額最小基準による投資額の配分を前提とした上で、各地区とりわけ上下流のバランスのとれた投資額の範囲を見定め、その範囲で各地区毎及び流域全体としての投資額すなわち治水規模を決定することが1つの立場であろう。

以上の観点から、上下流のバランスのとれた治水規模の範囲を分析するためのモデルを2で設定する。モデルは実験計画法を用いた上下流の関係を考慮した被害関数の設定モデルとそれにもとづく被害最小化基準による投資額の最適配分モデルにより構成される。3では実流域を対象としてモデルの適用性を分析する。

2. 河道改修規模決定モデルの概要

本稿では現行の河道改修が築堤中心で展開されていることを踏まえ、まず築堤による河道改修を前提として流域全体で最も治水効果が大きくなるように投資額を地区配分する。このような投資額の配分により事業の公共性を確保しておき、次に公平性の観点から投資額を決定しようとするものである。さらに、築堤による効果が相対的に低く、投資額を増加させてもその配分量が増えないような地区については別途に築堤以外の対策を考えていく必要がある。以上の考え方を我国の河川に適用するとき、往々にして問題となるのが地区間、とりわけ上下流の問題である。すなわち、流下時間が短い上に、氾濫量が本川流量に比べ無視しがたいような流域では各地区の治水効果を独立にとりだすことが困難であり、その結果投資配分問題解決のアプローチを複雑なものにしている。特に肱川や由良川などに代表される上流盆地部の締切り問題は都市化の進展とともに問題そのものも一層難渋さを極め早急な解決が望まれている。

図一1に示す河道改修規模決定モデルは本節冒頭の立場から、このような流域に主眼を置いた計画モデルを提案したものである。すなわち、治水効果に関する地区間の関連を把握するため氾濫シミュレーションが必要であるが、投資配分問題¹⁾²⁾に対して基本的な2つの組合せ方があると思う。1つは配分問題の入力として予め任意の地区別改修規模のもとでシミュレーションを行ない、その結果を関数形なりで整理しておく方法と、もう1つは配分問題に内部化し、配分代替案各々についてシミュレーションを行ない、その結果を評価し

*旧称 憐日本水道コンサルタント

ていく方法である。後者の方法については上林・島田・涌井らの研究³⁾がある。本稿では総投資額の変化に対する配分結果の感度分析などが容易であり、モデルの操作性に優れるという観点から前者の方法を採った。しかしながら、この方法では地区の数に応じて膨大な量のシミュレーションが必要とされるため、実験計画法の適用を図りこれを効率よく処理するものとした。⁴⁾また実験計画法で用いる分散分析により、地区間の関連の有無等を統計的立場から評価できることも利点の1つである。このようにしてまず実験計画により定められた洪水追跡氾濫シミュレーションの結果に対する分散分析により、築堤効果に関する主効果と交互作用を調べ、いずれかの効果のある地区を対象として治水効果、すなわち流域年平均被害額の推定式を設定する。築堤効果のない地区は他の対策を考えていくことになる。次いでこの被害額推定式の最小化問題をいくつかの流域投資額のもとで解き、得られる解について地区間のバランスを調べ適切な投資規模とそのときの各地区の改修規模を出力するものである。この方法において任意時点の築堤規模を制約条件として加え、被害額最小化問題を繰り返すことにより、適応的な前進型段階的治水計画へ拡張することも可能である。以上のモデルは3で具体的に述べるとともにその適用性を議論していく。

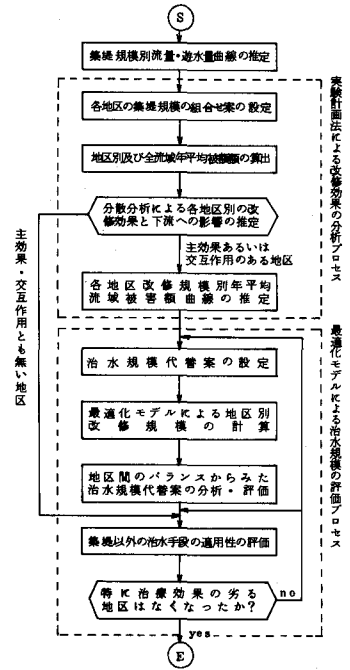


図-1 河道改修規模決定モデル

3. モデルの適用事例

本節では典型的な上流盆地・下流狭窄のA川(計画高水流量 $5200\text{ m}^3/\text{s}$)を対象としてモデルの具体的な説明とその適用性を議論していく。A川は図-2に示すように氾濫形態より8つの地区から構成されており、上流に広がる盆地のA地区と中流の遊水池C及びD地区の締切りが懸案となっている。特にA及びD地区は表-1に示すように人口密度・農地比率がともに高く、他地区とのバランスを考慮した早急な締切りが要求されている。以下、2.に示した図-1のフローに従ってA川の治水規模を評価していく。

3-1 築堤規模別流量・遊水量曲線の推定

築堤規模別流量・遊水量曲線の推定は図-3に示す遊水量推定フローに従って作成した。すなわち、まず川幅程度の破堤越流量をエンゲルス公式により求め、もし、破堤地点下流に至っても築堤規模以下に流量が低減しない場合は溢水氾濫を考え、両者の和

表-1 地区特性

地区	人口 (人)	面積 (km^2)	人口密度 (人/ km^2)	農地面積 (km^2)	農地比率
A	495.0	8.404	17.0	308.0	0.62
B	5.6	1.04	18.4	1.3	0.22
C	81.2	2.62	3.2	52.6	0.65
D	83.1	1.062	12.8	63.0	0.76
E	30.6	68.0	22.2	16.6	0.54
F	95.7	68.8	7.2	58.3	0.61
G	42.3	36.3	8.6	39.8	0.94
H	38.0	20.8	5.3	30.6	0.79

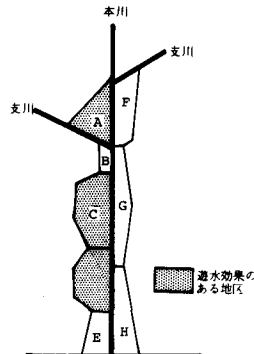


図-2 流域図

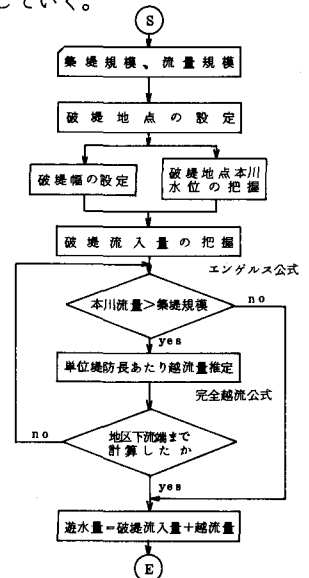


図-3 遊水量推定フロー

Figure 1 consists of three sub-graphs labeled 地区 A, 地区 C, and 地区 D. Each graph plots '上游流量 (m³/s)' on the y-axis (0 to 4000) against '本川流量 (m³/s)' on the x-axis (0 to 6000). Two data series are shown: 3500 m³/s (open circles) and 5500 m³/s (filled circles).

地区	上游流量 (m³/s)	本川流量 (m³/s)	
		3500 m³/s (○)	5500 m³/s (●)
地区 A	500	3500	4500
	3500	5500	6000
地区 C	500	3500	4500
	3500	5500	6000
地区 D	500	3500	4500
	3500	5500	6000

3-2 実験計画法による改修効果の分析

```

graph TD
    S((S)) --> A[各地区集提規模を要因とした直交表への割付け]
    A --> B[流量規模のケース設定]
    B --> C[汎濫シミュレーションによる地区別流量の推定]
    C --> D[流量別被害額の推定]
    D --> E[年平均被害額の推定]
    E --> F{分散分析による集提効果の評価}
    F -- "効果のある要因" --> G[年平均被害額推定式の作成]
    F -- "効果のない要因" --> A
    G --> E2((E))
  
```

The flowchart illustrates the evaluation method for flood damage reduction effects. It begins with a start point 'S', leading to '各地区集提規模を要因とした直交表への割付け' (Assignment to orthogonal table with regional collection scale as factor). This leads to '流量規模のケース設定' (Case setting of flow scale), which then leads to '汎濫シミュレーションによる地区別流量の推定' (Estimation of regional flow by overflow simulation). From here, it proceeds to '流量別被害額の推定' (Estimation of damage amount by flow), then '年平均被害額の推定' (Estimation of average annual damage amount), and finally to a decision point '分散分析による集提効果の評価' (Evaluation of collection effect by dispersion analysis). If there are effective factors ('効果のある要因'), it leads to '年平均被害額推定式の作成' (Creation of average annual damage amount estimation formula). If there are no effective factors ('効果のない要因'), it loops back to the assignment step. The process ends at point 'E'.

表-2の割付けにもとづき図-5のフローにより年平均被害額の推定を行ない、各要因の効果を調べ分散分析を行なったものがそれぞれ表-3、表-4である。この結果、5%有意水準に対し、主効果は全て有意となり、交互作用は図-7に示す通り地区Aに関しては予め設定した全ての関係が有意となり、地区C、Dについては双方とも地区Eとの関係のみ有意であった。

$L_{25}(2^{31})$																															
群番号		1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
群番号	元番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
13	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
15	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
16	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
17	17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
19	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
20	20	1	1																												

—371—

$$D = \underbrace{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{(m_i - x_i)}{\Delta x_i}}_{\text{主効果}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \cdot \frac{(m_i - x_i)}{\Delta x_i} \cdot \frac{(m_j - x_j)}{\Delta x_j}}_{\text{交互作用}} + \underbrace{\nu}_{\text{平均}} \quad (1)$$

として表わせる。ここに i, j : 地区名、 n : 地区数、 a_i, β_{ij}, ν : それぞれ主効果、交互作用、平均効果を示し、 x_i : 築堤規模、 Δx_i : 築堤レベル間隔、 m_i : 平均築堤レベルを示す。なお、 a_i, β_{ij}, ν については表-3、表-4より設定され、同推定式の検証を表-5に行なった。この結果、(1)式は充分な精度を持つものとみなせる。

表-3 要因効果 (百万円/年)

列名	水準間の差	要因効果	二乗和
1 A	3.48111	10878	378.69130
2 B	1.18655	3708	43.99685
3 AB	-9.6809	-3025	29.28747
4 E	436.71	1365	5.95985
5 AE	-370.09	-1157	4.28021
6 DH	-75.65	-236	178.84
7 e	28.91	0.90	26.12
8 C	3.6945	1.155	4.26541
9 AC	-152.27	-4.76	72.457
10 e	-0.03	-0.00	0.00
11 e	0.01	0.00	0.00
12 CE	-15.607	-4.88	76.118
13 e	1523.7	4.76	72.552
14 e	4105	1.28	52.66
15 e	-42.19	-1.32	55.65
16 F	3.99405	12.481	498.51370
17 AF	-2.36315	-7.385	174.51490
18 e	5157	1.61	85.11
19 CH	-53.71	-1.68	90.15
20 e	261	0.08	0.21
21 CD	-627	-0.20	1.23
22 e	0.01	0.00	0.00
23 e	0.01	0.00	0.00
24 e	122.11	3.82	46.596
25 DE	-18.433	-5.76	10.6180
26 AH	-20.425	-6.38	130.369
27 H	254.35	7.95	2.02168
28 AD	-37.293	-1.165	43.4615
29 D	52.487	16.40	8.60902
30 G	37.275	1.165	43.4196
31 AG	-25.673	-8.02	20.5970

表-4 分散分析表

列名	水準平均値(百万円/年)		自由度	二乗和	分散	F 値
	第1水準	第2水準				
1 A	810.67	593.10	1	378.69130	378.69130	2.687.262
2 B	738.96	664.80	1	43.99685	43.99685	312.210
4 E	715.53	688.23	1	5.95985	5.95985	42.292
8 C	713.45	690.34	1	4.26541	4.26541	30.268
16 F	826.70	577.07	1	498.51370	498.51370	3.537.543
27 H	709.83	693.93	1	2.02168	2.02168	14.346
29 D	718.28	685.48	1	8.60902	8.60902	61.091
30 G	713.53	690.23	1	4.34196	4.34196	30.811
3 AB			1	29.28747	29.28747	207.829
5 AE			1	4.28021	4.28021	30.373
6 DH			1	178.84	178.84	1.269
9 AC			1	72.457	72.457	5.142
12 CE			1	76.118	76.118	5.401
17 AF			1	174.51490	174.51490	1.238.389
19 CH			1	90.15	90.15	0.640
21 CD			1	1.23	1.23	0.009
22 CG			1	0.00	0.00	0.000
25 DE			1	10.6180	10.6180	7.535
26 AH			1	130.369	130.369	9.251
28 AD			1	43.4615	43.4615	30.841
31 AG			1	20.5970	20.5970	14.616
誤差			10	140.921	14.092	

F 値 5% 有意水準 = 4.96
F 値 1% 有意水準 = 10.00

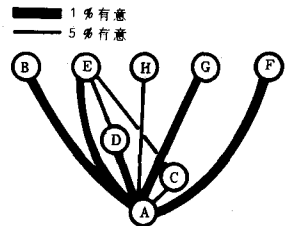


図-7 地区間の関連

表-5 年平均被害額推定式の検証

実験値	推定値	誤差
(1) 883.53	876.63	(-6.90)
(2) 765.97	766.34	(+0.37)
(3) 854.27	864.45	(+10.18)
(4) 768.69	770.88	(+2.19)
(5) 866.07	865.47	(-0.60)
(6) 781.55	788.68	(+7.13)
(7) 869.70	867.28	(-2.42)
(8) 750.17	740.21	(-9.96)
(9) 862.62	852.59	(-10.03)
(10) 765.56	763.07	(-2.49)
(11) 853.98	861.18	(+7.20)
(12) 747.37	746.84	(-0.53)
(13) 853.68	855.94	(+2.26)
(14) 760.65	770.91	(+10.26)
(15) 849.21	849.51	(+0.30)
(16) 737.65	730.68	(-6.97)
(17) 880.73	878.78	(-1.95)
(18) 502.55	515.36	(+12.81)
(19) 888.48	889.83	(+1.35)
(20) 457.74	458.60	(+0.86)
(21) 867.13	854.88	(-12.25)
(22) 456.52	457.92	(+1.40)
(23) 813.19	812.89	(-0.30)
(24) 417.10	415.19	(-1.91)
(25) 730.14	733.43	(+3.29)
(26) 38.648	39.138	(+0.49)
(27) 76.965	76.585	(-0.38)
(28) 330.71	313.25	(-17.46)
(29) 792.56	788.22	(-4.34)
(30) 259.10	255.25	(-3.85)
(31) 592.20	610.22	(+18.02)
(32) 345.28	348.53	(+3.25)

(百万円/年)

3-3 最適化モデルによる改修規模の評価

本節ではまず最適化モデルによる流域投資額別の最適な地区別改修規模を求め、次いで、人口1人当りの年平均被害額に関する地区間の分散を指標とした公平性の分析を行ない、当該流域での暫定的な治水規模を評価していく。

(1) 地区別改修規模の最適化

現在の無害流量規模を $x_{\min, i}$ (i : 地区名) とし、各地区はいずれも計画高水流量規模 $x_{\max}$ まで改修可能とする。このとき、一定の投資額 $C_{\max}$ の範囲で最小被害となる各地区の改修規模は次の問題の解として与えられる。

$$D = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{(m_i - x_i)}{\Delta x_i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \cdot \frac{(m_i - x_i)}{\Delta x_i} \cdot \frac{(m_j - x_j)}{\Delta x_j} + \nu \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\text{s. t. } x_{\min, i} \leq x_i \leq x_{\max} \quad (i=1 \sim n) \quad (3)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^n C_i(x_i) \leq C_{\max} \quad (4)$$

ここで、 C_i : 地区別事業費曲線である。この問題は基本的には2次計画法として求解できるが、制約条件が $2n+1$ 個と多いため非常に大きな規模のLPを解く必要がある。このため、(3)、(4)のような制約条件の問題に適用性の高いBoxのcomplex法を用いることとした。この方法はBoxがHextらのsimplex法を不等号条件を有する非線形最適化問題を取扱うことのできるように発展させたものであり、目的関数空間上の勾配を必要とせず、1次元探索を用いないのでプログラムが単純である。

図-8は、(流域としての)治水規模を示す投資額 C_{max} を流量規模にして無害流量 $3000\text{ m}^3/\text{s}$ から計画高水流量 $5200\text{ m}^3/\text{s}$ まで変化させたときの全区間一定規模改修に必要な事業費とし、それぞれに対し最適改修を行なったときの年平均被害額の挙動を全地区一定規模改修の場合と比較したものである。この結果、投資規模が小さい間は最適改修の効果は若干小さいが、 $4500\text{ m}^3/\text{s}$ 以上になると約4割程度の被害削減効果がみられる。また、表-6は、得られた地区別最適改修規模であるが、 $3500\text{ m}^3/\text{s}$ では地区A、C、Dでバランスよく遊水させ、 $4000\text{ m}^3/\text{s}$ になると主として地区A及び地区Dで遊水効果を持たせ、 $4500\text{ m}^3/\text{s}$ では主として地区Cで遊水効果を持たせることが妥当という解となっている。なお、 $5000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上では全て締切の方が良いと考えられる。すなわち、概ね、地区Aは他地区が $4500\text{ m}^3/\text{s}$ まで達したとき締切り、地区C、Dは他地区がそれぞれ $5000\text{ m}^3/\text{s}$ 及び $4500\text{ m}^3/\text{s}$ まで改修が進んだ後に締切るのが妥当という結果となっている。

(2) 公平性による改修規模の評価

最適化モデルによる最適な各地区の改修規模が表-6に得られたが、この結果を前提として公平性の観点から治水規模を評価していく。このときの公平性の指標を考えるため、地区 i での住民1人当たり年平均被害額 d_i が、公平性を考慮して定められ

たある基準 d_a をはずれたときのペナルティ $L_i(d)$ を考え、これを d_a の近傍でテーラー展開すると次式を得る。

$$L_i(d_i) = L_i(d_a) + \frac{L'_i(d_a)}{1!} \cdot (d_i - d_a) + \frac{L''_i(d_a)}{2!} \cdot (d_i - d_a)^2 + \epsilon \tag{5}$$

ここで、 $L(x_a) \equiv L'(d_a) \equiv 0$ かつ $\epsilon \approx 0$ とおけるから、

$$L_i(d_i) \approx \frac{L''(d_a)}{2!} \cdot (d_i - d_a)^2 \tag{6}$$

となる。今、 $L''(d_a)/2! \approx \text{const.}$ と仮定し、 d_a を流域平均の住民1人当たり年平均被害額と考え、各地区内の住民は均一に被害を受けるものとする流域全体のペナルティの和は各地区1人当たりの年平均被害額の分散に比例することになり、結局統計学の教えるところによる次式の分散を公平性指標とする。

$$V_d = \frac{\sum_i^n n_i (d_i - d_a)^2}{\sum_i^n n_i} \tag{7}$$

ここに、 n_i ：地区内人口である。図-9は公平性指標 V_d の投資額すなわち治水規模に対する変化を示したものである。この結果、 $4500\text{ m}^3/\text{s}$ 規模で公平性は最も劣っており、無害流量から $4000\text{ m}^3/\text{s}$ まで公平性は若干劣っていくがその傾向は顕著でなく、また、 $5000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上では公平性が極めて高い。従って暫定規模としては $4000\text{ m}^3/\text{s}$ としておくか、あるいは一挙に計画高水まで改修することが妥当であろうと結論される。また、 $4000\text{ m}^3/\text{s}$ 改修としたときは表-7より、下流のE、G、Hの各地区の被害が相対的に大きくなっており、築堤以外の対策として避難体制の強化や、人家の盛土などの導入について検討の余地があろう。

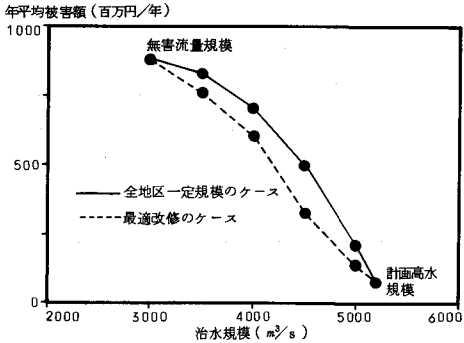


図-8 治水規模別の最適改修効果

表-6 治水規模別の各地区最適改修規模

治水規模 (m^3/s)	A	B	C	D	E	F	G	H
3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
3,500	3,080	3,840	3,800	3,630	3,270	4,920	3,140	3,520
4,000	4,180	4,910	5,030	4,690	3,160	4,380	3,110	3,270
4,500	5,120	5,200	3,020	5,200	4,580	4,670	4,250	3,180
5,000	5,200	5,200	4,980	5,000	4,310	5,200	4,710	5,060
5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200

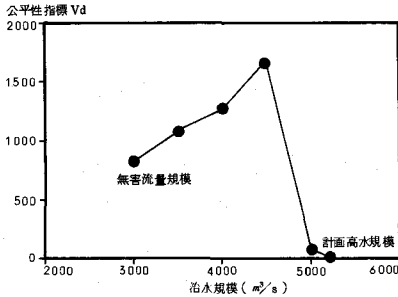


図-9 公平性指標

表-7 治水規模別の各地区1人当り年平均被害額(百万円/人)

治水規模 (m^3/s)	A	B	C	D	E	F	G	H	平均
3,000	690.0	103.59	424.2	121.0	0.00	117.60	15.83	0.00	59.57
3,500	72.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.62
4,000	38.14	0.00	0.00	0.00	124.46	0.00	103.18	197.28	41.08
4,500	158.0	0.00	277.32	0.00	0.00	58.97	39.92	10.45	22.33
5,000	8.70	31.60	7.23	0.00	37.51	7.42	8.50	0.00	9.52
5,200	6.39	23.22	5.31	0.00	0.00	5.45	1.66	0.00	5.26

4. おわりに

我国において頻繁に見られる上流盆地・下流狭窄といった図式の河川では、地区間、とりわけ上下流のバランスのとれた河道改修の実施が難を極めていることが多い。本稿はこうした河川に特に着目し、各地区の改修規模決定のモデルを提案したものである。このモデルの基本的構成は次の通りである。まず、従来のD・Q曲線の考え方では改修効果の分析に対して簡便で取り扱いが容易であるが、遊水効果が無視しえない上記のような河川に対しては地区間の被害が互いに関連しあうため適用性が少ないと考えた。このような観点から実験計画法を用いた合理的な氾濫シミュレーション及び分散分析により地区間の交互作用を考慮した拡張D・Q曲線ともいべき年平均被害額推定式を作成する。次いで、この成果にもとづき、任意の改修レベルに対し、非線形最適手法による各地区別最適改修規模を求める。さらに、公平性指標は人口1人当り年平均被害額の分散としてモデル化し、各改修レベルの比較検討を行なうものである。同モデルをA川に適用したところ、最適改修を行なったことによる被害額低減効果は治水規模が4500 m^3/s 以上で顕著にみられるが、公平性の観点からは治水規模は計画高水レベルまでの一括改修が無理とすれば暫定規模として4000 m^3/s としておくことが妥当であろうと結論された。

以上のモデルは本文でも示したように適応的な段階的治水計画モデルへの拡張が可能と考えられ、今後の課題としたい。また、公平性の指標に関し、著者らは別途住民アンケートによる住民の満足度の評価などに取り組んでおり、これらの成果も含めて体系的な分析が必要と考えている。最後に本論文の遂行にあたり貴重な助言を多々頂いた(株)日水コン森野彰夫・渡辺晴彦の両氏に謝意を表します。また、西沢常彦・今田俊彦の両氏の多大な協力に感謝致します。

参考文献

- 1) 高埜琢馬・池淵周一・小尻利治：水系一貫した治水計画の策定に関する研究、京大防災研究所年報、第25号B-2、pp. 285~296、1982。
- 2) 室田明・江藤剛治：投資配分問題としての河川段階改修計画、第27回水理講演会論文集、pp. 475~484、1983。
- 3) 上林好之・島田健一・湧井龍二：河川改修の段階的施工について、河川、426号、51~60、1982。
- 4) 中川芳一・森野彰夫：洪水調節施設計画案選定に関する研究、NSC研究年報、Vol. 7、№1、pp. 13~35、1979。
- 5) 奥野忠一・芳賀敏郎：実験計画法、新統計シリーズ、培風館
- 6) 田口玄一・横山巽子：実験計画法、経営工学シリーズ、日本規格協会
- 7) 萩原良巳・中川芳一・森野彰夫・今田俊彦・蔵重俊夫：地域特性を考慮した治水計画のための住民アンケート分析、NSC研究年報、Vol. 9、№1、pp. 35~47、1981。