

河川段階改修計画へのDPの適用

大阪大学 工学部 正員 室田 明
 近畿大学 理工学部 正員 江藤 剛治
 大阪府 正員 ○福森 一雄
 日本道路公団 正員 野口 英正

【I】はじめに 河川改修には長年月・莫大な費用を要するため、予算制約・用地制約下では、通常段階改修方式が採用される。筆者らは河川段階改修計画を3種の問題に階層化した。本研究では長期計画レベル(治水水準改訂問題)・短期計画レベル(着工順位付問題)の問題を動的計画法(DP)により解析し、望ましい段階改修のあり方を検討する。

【II】DPによる治水水準改訂問題の解析 治水水準改訂問題とは「水系全体の治水水準を何段階で向上させるかを検討する問題」である。解析の目的は次のとおりである。

- ① DPにより最適解(最適最終計画規模・各段階の最適拡張規模)を求めるための実用的な手法の開発。
- ② 現況の疎通能の分布が最適解に与える影響²⁾を代表的な現況疎通能分布モデル(一様分布, 三角形分布 [表-1])を考えることにより検討すること。
- ③ 現実的に望ましい規模の拡張方式を検討すること。

DPの用語を表-2に, 前進型の再帰方程式を無次元化・離散化したものを式(1)に示す。目的関数は「純便益最大」とする。ここで純便益とは「治水工事による洪水被害の軽減額と治水工事に要した費用の差」である。目的関数には表-3に示す6つのパラメーターが含まれる。そのパラメーターが最適解に与える影響を感度分析する。規模の経済性指標 α に対する感度分析の例を図-1に示す。感度分析の結果, 次の知見を得た。

- ① 各段階拡張規模の数値解を求めるには, DPが非常に有効な手法である。
- ② 現況疎通能の分布形に関係なく, 望ましい規模拡張方式は改修初期には小規模・多段階で, 改修末期には大規模・少段階であることが数値解析的に検証された。
- ③ 現況疎通能の分布形の違いにより, 各段階の拡張規模に多少の差異はあるものの, 最

表-1. 現況疎通能分布モデル

疎通能分布モデル	密度関数 f(x)	確率分布関数 F(x)
疎通能一定	$f(x) = \frac{1}{b-a}$	$F(x) = \frac{x-a}{b-a}$
一様分布	$f(x) = \frac{1}{b-a}$	$F(x) = \frac{x-a}{b-a}$
三角形分布	$f(x) = \frac{2}{(b-a)^2}x$	$F(x) = \frac{x^2-a^2}{b^2-a^2}$
三角形分布	$f(x) = \frac{2}{(b-a)^2}(b-x)$	$F(x) = \frac{b^2-x^2}{b^2-a^2}$

$$\hat{V}_i(x^{(i)}) = \hat{B}_{n,i}(x^{(i)}) - \hat{C}_{n,i}(v_i^{(i)})$$

$$\hat{V}_{i+1}(x^{(i+1)}) = \max_{x^{(i+1)}} [\hat{B}_{n,i+1}(x^{(i+1)}) + \hat{V}_i(x^{(i)}, v_i^{(i)})]$$

$$(i=1, 2, \dots, N)$$

where, $\hat{B}_{n,i}(x^{(i)}) = \hat{B}_{n,i}(x^{(i+1)}) - \hat{C}_{n,i}(v_i^{(i)})$

$$[x^{(i)}]_{i=1}^N (i=1, \dots, N), [v_i^{(i)}]_{i=1}^N$$

表-2. DPの用語

用語	記号	説明
Stage	i	時
State Variable	$x^{(i)}$	第i段階工事完了時, 施設規模(疎通能)
Control Variable	v_i	第i段階の拡張規模(治水水準改訂)
Dynamics	$f(x^{(i)}, v_i)$	$x^{(i+1)} = x^{(i)} + v_i$
Policy	$[v_i]_{i=1}^N$	各段階の拡張規模の系列

図-1. α に対する感度分析例

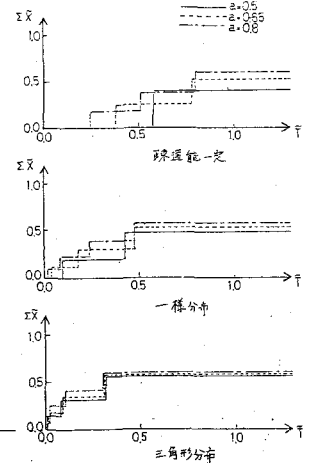


表-3. パラメーター

パラメーター	記号	単位	標準値	変数範囲
治水工事による洪水被害の軽減額	$\hat{B}_{n,i}$	円/年	0.5	0.5 - 0.8
治水工事に要した費用	$\hat{C}_{n,i}$	円/年	1.0	1.0 - 2.0
着工率	r	1/年	0.045	0.0 - 0.1
治水水準改訂率	α	1/年	0.0	0.0 - 1.0
治水水準改訂率	α	1/年	4.0	2.0 - 6.0
治水水準改訂率	α	1/年	1.0	0.0 - 1.0

適段階数・最適最終計画規模については、どの分布形の場合も等規模拡張の解とほぼ一致している。

Ⅲ) DPによる着工順位付問題の解析 着工順位付問題とは『第n段階(期)工事の範囲内で各治水施設の着工優先順位を決定する問題』である。研究の目的は、経済的効率性という観点(基準)からDPにより最適な着工優先順位を決定する手法の開発である。各治水施設規模は中期計画レベル(治水投資配分問題)の解として与えられる。制約条件として『いかなる治水工事によっても、一時的にせよ工事実施期間中に洪水被害額が増大する地帯があってはならない。』を導入する。この条件を『治水における権利保全の原則』と呼ぶ。DPによる解法はコンピューターの記憶容量・計算時間の制約から計算可能な施設数に限度がある。『治水における権利保全の原則』を導入しても大幅な改善は期待できない。よって、少ない計算回数で最適に近い順位を決定することができる『効率最大施設選択規則』による解とDPによる解とを比較検討する。

DPの用語を表-4に、前進型の再帰方程式を無次元化したもの式(2)に示す。目的関数は『改修工事期間中の便益最大化』とする。パラメーターを表-5に、計算結果の一例を表-6に、DPの計算効率を表-7に示す。検討の結果、次の知見を得た。

- ①河道区間数が約17個までの単一河道の着工優先順位を求めるには、DPが非常に有効な手法である。
- ②DPの解と効率最大施設選択規則の解が異なることがある。具体例を表-6のcase-2に示す。
- ③『治水における権利保全の原則』を考えれば、DPの解と効率最大施設選択規則の解はほぼ一致する。

[参考文献] 1) 室田・江藤・水野: S.56水講, 2) 室田・江藤・福森: S.57関西支部。

表4. DPの用語

Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅳ	Ⅴ
Stage	$(i=1, \dots, N)$		日 期	
State Variable	$X_i = \{x_{ij}, j=1, \dots, M\}$ $(i=1, \dots, N)$ ex. $x_{ij} = \{0, 1, 2, \dots, M\}$		第i段階工事完了時+本河河道間の完成状態 各治水施設の着工優先順位 第j河道区間の完成状態 $x_{ij}=0$ 河道区間数 M	
Control Variable	$V_{ij} = \{v_{ij}, j=1, \dots, M\}$ $(i=1, \dots, N)$		第i段階工事における第j河道区間の完成状態を表わす0-1変数 ex. 第j河道区間の完成状態 $v_{ij}=1$ 河道区間数 M	
Dynamics	$f_i(X_i, V_{ij})$ $(i=1, \dots, N)$ $(j=1, \dots, M)$		$X_{i+1} = X_i + V_{ij}$ $V_{ij} = \{0, \dots, 0, V_{ij}, 0, \dots, 0\}$ $V_{ij} = 1$	
Policy	$\{v_{ij}, j=1, \dots, M, i=1, \dots, N\}$		各河道区間の工事実施河道区間 の系列	

$$\hat{V}_i(X_i) = \hat{B}_{r,i}(X_i) = \hat{B}_{r,i}(V_i)$$

$$\hat{V}_{i+1}(X_{i+1}) = \text{MAX}[\hat{B}_{r,i+1}(X_{i+1}, V_{i+1}) + \hat{V}_i(X_{i+1}, V_{i+1})] \quad (2)$$

$$[V_{ij} | V_{ij}, j=1, \dots, M]$$

$$(i=1, 2, \dots, N-1)$$

表5. パラメーター

パラメーター	記号	単位	入力値	理論上の範囲
無次元化係数	α	-	1.0	1.0 - 2.0
割引率	r	%/yr	0.045	0.0 - 0.1
流域係数	β	%/yr	0.0	0.0 - r
流下率	η	-	0.0	0.0 - 1.0

表6. 計算効率

計画区間数 M	目的関数の評価回数	記 憶 容 量		
		列挙法	DP	DP
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
9	9	9	9	9
10	10	10	10	10
11	11	11	11	11
12	12	12	12	12
13	13	13	13	13
14	14	14	14	14
15	15	15	15	15
16	16	16	16	16
17	17	17	17	17
18	18	18	18	18
19	19	19	19	19
20	20	20	20	20

表7. 計算効率

区間数 M	目的関数の評価回数	記 憶 容 量
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20