

## 主成分分析法を適用して洪水時危険 度を推定する方法の開発

入 澤 実\*

国立防災科学技術センター

### Developments of Flood Vulnerability Estimation Method by Application of Principal Component Analysis

By

Minoru Irisawa

*National Research Center for Disaster Prevention, Japan*

#### Abstract

For the purpose of minimizing casualties at the time of floods, it is very important to know the vulnerable places along the river, but it is rather difficult to know such places in advance.

In this paper, the method for estimating the vulnerability at the time of flood through Principal Component Analysis by use of river channel data and hydrological data is developed.

This method consists of the following procedures:

1. First of all, the channel profile data (plane, cross-sectional and longitudinal data) and the bank structure data are acquired,
2. Principal Component Analysis is applied to these data, then principal components  $Z$  are obtained, and,
3. The vulnerability distribution along the river is then estimated by the principal components  $Z$  and hydrological data (water-level and the amount of rainfall) using the linear regression formula.

#### はじめに

洪水時において、どの場所がより危険であるかを事前に知ることが、出水による被害をより少なくするために重要であることはいうまでもないが、現実はその場所を見つけ出すことはなかなか難しく、高度の学識や長年の経験等をもってしても困難な場合が多い。しかしながら、最近の情報網の発達及び情報収集能力の進歩等により、出水時における各種の水文資料がかなり迅速に集められるようになってきたことから、これらの水文資料を利用すること

---

\* 第1研究部風水害防災研究室

により、洪水時における河川沿岸の危険個所の推定をある程度行なえるのではないかと考える。

この報告は、そのための一つの方法として、河道の形状（河道の平面・縦断・横断形状）、堤防構造等の資料とすでに収集されている水文資料、あるいは、その資料をもとにして推算された予測水位（流量）等を総合的に見ることにより、洪水時の河川に対する警戒の度合（以後、「警戒度」という）を求める方法を作成しようと試みたものである。そのための手段として、諸々の手段が考えられるが、現在においては、どの方法が優れているかは判断が難しく、特定の方法が特に優れているといったようなことはまだない。今回は、洪水被害発生に大きな影響があると推察される河道の平面形状・堤防構造等の資料を主成分分析法と呼ばれる統計的手法で処理し、河川の警戒度を推定する方法を提案するものである。

主成分分析法によれば、後述の因子負荷量を求め、その値から各主成分の性格づけを行なうことにより、警戒度に影響を与えるものの種類（堤防の幅の大きさに関するもの、河川の断面の大小に関するものなどといったもの）とその間の関係を判りやすくすることができるのでこの方法を用いた。又、今回、主成分分析法によって求められた警戒度は、求められる値がある値以上の数値を示すと必ず被害が生じるといった絶対評価的なものでなく、対象河川内における各区分相互の警戒度の比較といった相対評価的な考え方のものである。いうなれば、洪水時における水防団の出動先の優先順位に利用するといった性質のものを求めようとするものである。

## 1. 主成分分析法を用いた実際の河川での応用例

### 1.1 対象地域

対象地域の選定において、次のことが選出する上での条件となった。

- ① 過去に大きな洪水被害があること。そして、
- ② その洪水時の資料（堤防構造・水文諸量・河道の平面形状等）が相当整っていること。

その結果、今回の検討では、中部地方の代表的河川であるT川が、先の条件を満足していることから、この河川の河口から139km～199kmの60km区間を対象域として選んだ。T川の河口から139km～199km付近は、代表的な急流河川で、昭和36年6月に梅雨前線によってもたらされた降雨により、この地方としては未曾有の被害を受けた経験をもっていて洪水時の資料も整っている。

### 1.2 計算例とその結果

一般的に、洪水被害の発生と大きな関係があると推察される因子には、表1のようなものが考えられる。しかし、洪水によってもたらされる被害の実態は、ふつう河川毎・洪水毎にかなり違っている。そこでT川においては、表1のうち明らかにT川の洪水被害発生原因と

表 1 選択因子一覧表

No.	選 択 因 子	No.	選 択 因 子	No.	選 択 因 子
1	表 法 勾 配*	12	み お 筋 幅*	23	堤内地盤高以下流下能力*
2	裏 法 〃 *	13	み お 筋 角 度*	24	堤 外 地 状 況
3	余 裕 高*	14	支 川 合 流 角 度	25	天端高以下流下能力*
4	天 端 幅*	15	假 堤 幅	26	背 後 地 利 用
5	直 高*	16	堤 防 曲 率*	27	水 面 利 用
6	敷 幅*	17	みお筋変動量(平 面)*	28	天 端 利 用
7	法 覆 工 種*	18	堤 防 と み お 筋 角 度*	29	河 川 工 作 物 密 度
8	堤 体 土 質	19	河 床 縦 断 勾 配*	30	橋 台 高
9	根 固 め	20	みお筋変動量(縦 断)*	31	水 位*
10	地 質 及 び 土 質	21	河 床 変 動 量*	32	流 速
11	流 心 距 離	22	河 川 幅*	33	洪 水 継 続 時 間

\*印は、T川の計算に使用した因子

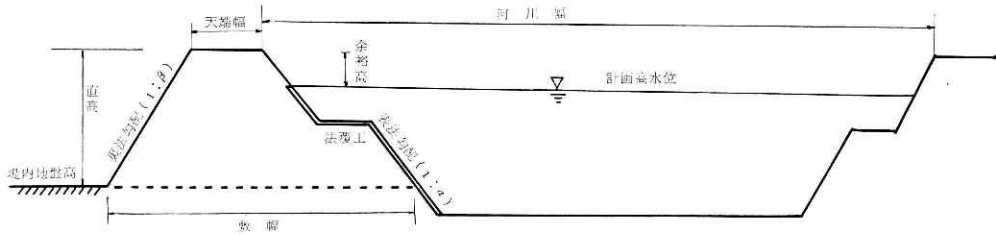


図 1 (1)因子の定義

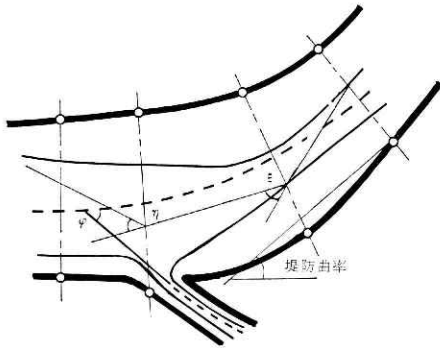


図 1 (2)因子の定義

(計測方法)

1. 表法勾配: 図 1 (1)の  $\alpha$  の値.
2. 裏法勾配: 図 1 (1)の  $\beta$  の値.
3. 余裕高(m): 天端高—計画高水位,(天端高 < 計画高水位の時は負の値.)
4. 天端幅(m): 堤防天端の幅.
5. 直高(m): 天端高—堤内地盤高.
6. 敷幅(m): 堤内地盤高のレベルでとった堤防幅.
7. 法覆工種: 表 2 参照.
8. みお筋幅(m): 対象区間でみお筋と堤防が

最も接近している距離.

9. 堤防曲率度: 対象区間の両端における堤防接線のなす角度.
10. 堤防とみお筋のなす角度(度): 対象区間での最大値を採用.
11. みお筋角度(度): 200m 間隔でみお筋位置を結びその線のなす角度 (図 2 (2)で  $\eta + \zeta$  にあたる.)
12. みお筋変動量(平面方向)(m): 災害時前後(昭和36年)におけるみお筋の平面方向の変動幅.
13. みお筋変動量(縦断方向)(m): 災害時前後(昭和36年)におけるみお筋の縦断方向の変動幅.
14. 河床縦断勾配: 対象区間両端の平均河床から求めた勾配1/Sの S.
15. 河床変動量 (m<sup>2</sup>): 200m 区間の横断図(災害時前後より求めた変動量の横断面積).
16. 天端高以下流下能力 (m<sup>3</sup>/S): 天端高以下の河積を使って等流計算結果から求めた値. (堤防のある区間では河積から算出した天端高以下の流下能力.)
17. 河川幅(m): 左・右岸堤防の低い方の堤外側法肩のレベルでの幅.
18. 河川工作物密度(個所): 対象区間内にある河川工作物の数.

無関係なものは無視して、表1のうちの※印をつけたものだけを以後の計算に採用した。

次に、警戒度回帰評価式の作成の手順について簡単に述べる。対象区間を適当な区間に分け、その各区間において、検証洪水当時における河道資料・水文資料等から氾濫被害と関係あると思われる因子を数量化して（この数量化した値を特性値と呼ぶ）、その値を用いて主成分分析を行ない、主成分及び主成分値を求める。その結果と検証洪水の実績被害との間で重回帰分析を行ない、警戒度に対する回帰評価式を作成するという手順である。今回は、対象としたT川の60km区間を600mごとに分割し、その各区間において表1の※印の因子について平面図・縦断面図・横断面図等の資料から数量化を行なった。数量化の方法については、図1(1)、(2)のとおりである。この分割に際しては各区間とも左岸と右岸は各々独立しているものとして取り扱い、全部で200区間となる。又、今回の検討の対象地区には、有堤部と無堤部があるので、対象区間を(1)堤防構造に関係する因子のみ取り扱う区間（有堤部）(2)堤防構造以外で、河川全体に共通に関係あると思われる因子を取り扱う区間（無堤部）とに分けて主成分分析を行なった。この時の計算に使用する特性値は表1の※印の因子を数量化して求める。それらの各因子の単位は相互に異なるため、各因子とも基準化した値を特性値とした。基準化は、次の式によった。

$$x'_{\alpha i} = (x_{\alpha i} - \bar{x}_i) / S_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し  $x_{\alpha i}$  : 対象区間 $\alpha$ において因子 $i$ を数量化した値,  $\bar{x}_i = \sum_{\alpha=1}^m x_{\alpha i} / m$ ,

$m$  : 因子 $i$ の総数,  $S_i$  : 標準偏差,  $x'_{\alpha i}$  : 因子 $i$ の特性値。

今回の対象流域であるT川の流域においては、表1の※印のうち堤内地盤高以下流下能力と天端高以下流下能力については、有堤部では天端高以下流下能力を、無堤部では堤内地盤高以下流下能力を採用した。又、法覆工種は表2の7の種類で、その種類によって強さの度合を決め、堤体材料については、対象区間の全区間において材質が同一であるから、強度は同じ程度であるとした。水位については、実際の洪水の時は刻々水位は変化し、堤防構造やその他の条件では一回の洪水ではほとんど変化のない状態であることから、水位とその他の特性値とでは若干特性が違うのではないかと考えて、水位については後述（表11）するような方法を考えた。さらに、支川に関する取扱いについては、1.3で述べるような別の取扱いにすることとした。すなわち、この流域では、比較的大きな支川であるM川以外では、各支川の水位・流量等の資料が乏しく、河道に関する資料も少なく、本川と同様の方法で解析を進めていくことはできないため各支川から洪水時に入手できる雨量資料のみを使った支川だけの警戒度回帰評価式を考え、その結果を本川自身の評価式に加えるという方法によらざるをえなかった。故に、もし他の流域において今回の解析と同様のことを行なおうとする場合、資料さえ整っていさえ

表 2 法覆工種

ランク	工 種
1	コンクリート
2	練石、玉石、雜割石
3	蛇 籠
4	芝
5	土

※ランク値によって強さの度合を代表させその値が、小さい方が強いものとした。

すれば、本川の主成分解析の一つの因子として支川の資料を取り入れることの方が望ましい。この流域においては、支川の合流角度による被害の差違は、ほとんどないと考えられるので（天竜川上流工事事務所、1976）、この因子は無視することにした。以下、本川警戒度評価式の作成に関係する因子の数量化については、検証洪水直前の昭和35年当時の資料を使った。

以下、主成分分析を行なうその手順について述べる。

まず、採用した各因子間の相関係数を計算する。すなわち、ひとつの因子において区間の数だけ資料が求まる（200 区間であるから 200 の資料が集まる）から、それらの各因子間の相関係数が計算できる。（この相関係数の計算に際して資料は、先に述べたとおり基準化したものを用いる。）その結果を表3に示す。表3の相関係数を対称マトリックスにし、その固有値を求める。この固有値( $\lambda$ )は、マトリックスの次元の数だけ求められる。すなわち、相関係数を計算した因子の数だけ求めることができる。主成分分析法では、各主成分  $Z_k$  の分散は固有値  $\lambda_k$  に等しくなり、各々の主成分の分散を全体の分散で除したものが全体の寄与に対する各主成分の寄与の割合（寄与率）となる。この寄与率は、次式で表わすことができる。

表 3 (1) 各因子間相関係数表（有堤部）

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
表法勾配 $x_1$	1	0.544	0.047	0.004	-0.276	-0.186	0.016	-0.055	0.058	0.042
裏法勾配 $x_2$		1	0.122	0.255	-0.032	-0.023	-0.096	0.054	0.036	-0.117
余裕高 $x_3$			1	0.109	0.178	0.202	-0.297	0.059	-0.399	0.188
天端幅 $x_4$				1	0.028	0.068	-0.023	0.256	-0.038	0.002
直高 $x_5$					1	0.650	-0.096	0.103	-0.194	0.195
敷幅 $x_6$						1	-0.149	0.085	-0.213	0.220
法覆工種 $x_7$							1	0.100	0.094	0.096
みお筋距離 $x_8$								1	-0.173	0.061
堤防曲線率 $x_9$									1	-0.313
堤防みお筋角度 $x_{10}$										1

表 3 (2) 各因子間相関係数表（無堤部）

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$
みお筋角度 $y_1$	1	-0.04064	-0.10882	-0.15548	0.02153	-0.03605	0.01317	-0.16411
みお筋変動量 (平面方向) $y_2$		1	-0.14540	-0.09900	0.15230	-0.07667	0.10039	-0.16823
みお筋変動量 (縦断方向) $y_3$			1	0.08120	-0.20354	0.13301	-0.05019	0.13102
河床縦断勾配 $y_4$				1	0.04904	-0.04973	-0.23504	0.06326
河床変動量 $y_5$					1	0.17830	-0.07180	-0.05775
堤・流下能力 $y_6$						1	-0.12712	-0.03254
河川幅 $y_7$							1	-0.34614
河川工作物密度 $y_8$								1

※ 堤・流下能力：堤内地盤高以下流下能力の意味（以後の表においても同じ）

$$\eta_k = \lambda_k / p \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $p = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots\dots\dots + \lambda_k + \lambda_p$

$\eta_k$ : 第  $k$  主成分の寄与率

表 4 (1) 主成分の固有値・寄与率・累積寄与率

有 堤 部				無 堤 部			
主成分	固 有 値	寄 与 率	累積寄与率	主成分	固 有 値	寄 与 率	累積寄与率
$Z_1$	2.271	0.227	0.227	$E_1$	1.673	0.209	0.209
$Z_2$	1.705	0.171	0.398	$E_2$	1.285	0.161	0.370
$Z_3$	1.262	0.126	0.524	$E_3$	1.121	0.140	0.510
$Z_4$	1.183	0.118	0.642	$E_4$	1.056	0.132	0.642
$Z_5$	1.034	0.104	0.746	$E_5$	0.930	0.116	0.758
$Z_6$	0.730	0.072	0.818	$E_6$	0.790	0.099	0.857
$Z_7$	0.607	0.061	0.879	$E_7$	0.656	0.082	0.939
$Z_8$	0.526	0.053	0.932	$E_8$	0.488	0.061	1.000
$Z_9$	0.381	0.038	0.970				
$Z_{10}$	0.302	0.030	1.000				

※  $Z_i$ : 有堤部の主成分

$E_j$ : 無堤部の主成分

表 4 (2) 固有ベクトル (有堤部)

主成分 因子	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
$x_1$	-0.218	0.548	0.087	-0.239	0.363	0.141
$x_2$	-0.079	0.633	0.001	0.186	0.287	0.114
$x_3$	0.360	0.316	0.262	-0.176	-0.323	-0.035
$x_4$	0.102	0.332	-0.443	0.335	-0.232	-0.665
$x_5$	0.492	-0.120	0.005	0.290	0.376	0.113
$x_6$	0.500	-0.056	0.043	0.268	0.384	0.031
$x_7$	-0.171	-0.187	-0.563	-0.298	0.354	0.000
$x_8$	0.172	0.134	-0.627	0.069	0.257	0.555
$x_9$	-0.399	-0.129	0.009	0.425	0.280	-0.197
$x_{10}$	0.309	0.006	-0.125	-0.579	0.264	-0.404

(無堤部)

主成分 因子	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$
$y_1$	0.271	-0.063	0.295	0.720	0.180	0.414
$y_2$	0.360	0.251	-0.335	-0.340	-0.309	0.647
$y_3$	-0.379	-0.286	0.367	-0.376	0.092	0.498
$y_4$	-0.354	0.181	-0.409	-0.066	0.721	0.090
$y_5$	0.149	0.712	0.023	0.010	0.032	-0.152
$y_6$	-0.128	0.431	0.684	-0.229	0.007	-0.054
$y_7$	0.471	-0.354	0.080	-0.359	0.110	-0.343
$y_8$	-0.516	0.004	-0.157	0.194	-0.575	-0.101

今回の検討で採用する主成分は、このようにして求めた寄与率から、累積寄与率が0.8を超える主成分までとした。すなわち、もとの特性値の80%以上の情報を表現できれば、今回の検討では実用上問題はないと考えたからである。ここでいう累積寄与率とは、寄与率の大きい主成分から順にその寄与率を加えていった時の累積値である。寄与率と固有値の計算結果を表4に示す。

その結果、有堤部では $Z_1 \sim Z_6$ まで、無堤部では $E_1 \sim E_6$ までを採用することとした。固有値の計算を行なうと同時に、各々の固有値に対する固有ベクトルが求まる。これらの固有ベクトル・固有値及びもとの因子の標準偏差を使って、主成分値を計算する式の係数・定数（もとの各特性値に対する係数・定数）を求める。そのための式は、次のとおりである。

$$z_{\alpha k} = a_{k1}x_{\alpha 1} + a_{k2}x_{\alpha 2} + \dots + a_{kp}x_{\alpha p} + b_k \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで  $z_{\alpha k}$  : 区間 $\alpha$ における第 $k$ 主成分の値

$$a_{ki} = l_{ki} / (S_i \sqrt{\lambda_k})$$

$$b_k = -(l_{k1} \frac{\bar{x}_1}{S_1} + l_{k2} \frac{\bar{x}_2}{S_2} + \dots + l_{kp} \frac{\bar{x}_p}{S_p}) / \sqrt{\lambda_k}$$

ここで  $k : 1, 2, \dots, p, i : 1, 2, \dots, m,$

$m$  : もとの因子の数,  $p$  : 主成分の数,

$a_{ki}$  : 第 $k$ 主成分に対する特性値 $i$ の係数,

$b_k$  : 第 $k$ 主成分の定数,  $l_{ki}$  : 第 $k$ 主成分の特性値 $i$ に対する固有ベクトル,

$S_i, x_i$  : は(1)式と同様,

上式を使った計算例を有堤部の場合を例にとって述べる。

$x$ の線形結合として、 $z_{\alpha k}$ を表わす時の係数( $a_{ki}$ )は次のようになる。まず固有値は表4(1)より2.271、この時の $x_1$ の固有ベクトルは表4(2)より-0.218、 $x_1$ の標準偏差は表5より0.339であるから係数( $a_{11}$ )は

$$a_{11} = -0.218 / (0.339 \times \sqrt{2.271}) = -0.4267$$

となり、これを表6(1) $Z_1$ の欄に記す。又、 $Z_1$ に対する定数は、 $x_1 \sim x_{10}$ の平均値と標準偏差が表5の統計表によりわかるから、次式より計算できる。

$$\begin{aligned} b_1 = & \{ (-0.218) \times \frac{1.81}{0.339} + (-0.079) \times \frac{1.91}{0.310} + 0.360 \times \frac{0.70}{2.794} + 0.102 \times \frac{5.17}{1.445} \\ & + 0.492 \times \frac{2.43}{0.873} + 0.500 \times \frac{18.46}{6.296} + (-0.171) \times \frac{2.43}{1.073} + 0.172 \times \frac{55.42}{45.259} \\ & + (-0.399) \times \frac{21.60}{22.735} + 0.309 \times \frac{24.27}{13.369} \} / \sqrt{2.271} = -1.0925 \end{aligned}$$

これを表6に記す。各主成分について係数・定数の計算を行なった結果が表6のとおりである。すなわち、第1区間の第1主成分の値を計算する式は次のとおりとなる。

$$\begin{aligned} z_{11} = & a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + b_1 \\ = & -0.4267x_{11} - 0.1690x_{12} + 0.0856x_{13} + 0.0468x_{14} + 0.3743x_{15} + 0.0527x_{16} \end{aligned}$$

$$-0.1056x_{17}+0.0025x_{18}-0.0117x_{19}+0.0153x_{110}-1.0925$$

次に各主成分が、もとの因子のもつ情報量を最終的にどの程度まで表わしているかについて考えてみる。

表 5 基本統計量

(有堤部)

諸 量		平 均 値	最 小 値	最 大 値	標 準 偏 差
表 法 勾 配	$x_1$	1.81	0.40	2.00	0.339
裏 法 勾 配	$x_2$	1.91	0.30	4.00	0.310
余 裕 高	$x_3$	0.70	-17.02	3.50	2.794
天 端 幅	$x_4$	5.17	1.00	10.50	1.445
直 敷 高	$x_5$	2.43	0.50	5.03	0.873
敷 幅	$x_6$	18.46	3.00	35.07	6.296
法 覆 工 種	$x_7$	2.43	1.00	5.00	1.073
み お 筋 距 離	$x_8$	55.42	4.50	189.00	45.259
堤 防 曲 率	$x_9$	21.60	0.00	142.00	22.735
み お 筋 角 度	$x_{10}$	24.27	3.50	60.50	13.369

※無堤部区間の基本統計量は、省略

表 6 (1)  $a_{ki}$ ,  $b_k$ の表 (有堤部)

$i \backslash k$		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
$x_1$	$a_{k1}$	-0.4267	1.2404	0.2278	-0.6490	1.0553	0.5259
$x_2$	$a_{k2}$	-0.1690	1.5639	0.0018	0.5522	0.9104	-0.6135
$x_3$	$a_{k3}$	0.0856	0.0867	0.0835	-0.0572	-0.1135	-0.1279
$x_4$	$a_{k4}$	0.0468	0.1761	-0.2726	0.2133	-0.1581	-0.0690
$x_5$	$a_{k5}$	0.3743	-0.1052	0.0055	0.3055	0.4232	-0.1615
$x_6$	$a_{k6}$	0.0527	-0.0062	0.0061	0.0391	0.0599	0.0017
$x_7$	$a_{k7}$	-0.1056	-0.1338	-0.4671	-0.2556	0.3239	-0.7003
$x_8$	$a_{k8}$	0.0025	0.0023	-0.0123	0.0014	-0.0056	0.0111
$x_9$	$a_{k9}$	-0.0117	-0.0044	0.0004	0.0172	0.0121	0.0201
$x_{10}$	$a_{k10}$	0.0153	0.0004	-0.0083	-0.0398	0.0194	0.0472
$b_k$		-1.0925	-5.5243	2.8237	-1.2685	-6.0881	0.5404

表 6 (2)  $a_{ki}$ ,  $b_k$ の表 (無堤部)

$i \backslash k$		$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$
$y_1$	$a_{k1}$	0.0061	-0.0016	0.0081	0.0204	0.0054	0.0136
$y_2$	$a_{k2}$	1.1945	0.9514	-1.3541	-1.4185	-1.3701	3.1189
$y_3$	$a_{k3}$	-0.3593	-0.3097	0.4254	-0.4485	0.1164	0.6872
$y_4$	$a_{k4}$	-0.0006	0.0003	-0.0008	-0.0001	0.0015	0.0002
$y_5$	$a_{k5}$	0.0070	0.0380	0.0013	0.0006	0.0020	-0.0104
$y_6$	$a_{k6}$	-0.1258	0.4835	0.8223	-0.2839	0.0095	-0.0767
$y_7$	$a_{k7}$	0.0038	-0.0033	0.0008	-0.0037	0.0012	-0.0041
$y_8$	$a_{k8}$	-0.4376	0.0036	-0.1628	0.2075	-0.6538	-0.1239
$b_k$		-0.8446	-0.5072	-0.3686	0.9660	-0.2821	-1.6017



各主成分において、もとの因子の情報量がどの程度の割合で表わされているかは、次式で計算することができる。

$$\begin{aligned} \nu_i &= \sum_{k=1}^m \lambda_k l_{ki}^2 = \lambda_1 l_{1i}^2 + \lambda_2 l_{2i}^2 + \cdots + \lambda_m l_{mi}^2 \\ &= u_{1i} + u_{2i} + u_{3i} + \cdots + u_{mi} \end{aligned} \quad \cdots \cdots (4)$$

$u_{mi}$ ：第 $m$ 主成分に含まれている因子 $i$ の情報量と因子 $i$ の全体の情報量の割合。

$\nu_i$ ：第1主成分から第 $m$ 主成分までに含まれる因子 $i$ の情報量と因子 $i$ の全体の情報量との割合。

この式を使つての計算例を述べる。ここで、たとえば、主成分 $Z_1$ にもとの因子 $x_1$ の情報量がどの程度含まれているか（寄与率）を計算する場合には次のようになる。

$$u_{11} = 2.271 \times (-0.218)^2 = 0.108$$

同様に、 $Z_2$ に含まれている $x_1$ の寄与率について考えてみると、

$$u_{12} = 1.705 \times (0.548)^2 = 0.512$$

となる。この計算を各主成分、各因子について行なった結果を表7に示す。この表において $Z_2$ 以降には、累積寄与率を併せて載せてある。その結果によると、もとの因子のうち的大部分が $m$ 個の主成分で80%以上表わされている。

次に、この各主成分ともとの因子との相関係数（因子負荷量という）を計算する。因子負荷量は、各主成分がどんな因子と相関が強いかわかることにより、主成分の性格づけを行な

表 7 (1)各因子に対する寄与率及び累積寄与率（有堤部）

	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
表 法 勾 配 $x_1$	0.108	0.512 (0.620)	0.010 (0.630)	0.067 (0.697)	0.137 (0.834)	0.015 (0.849)
裏 法 勾 配 $x_2$	0.014	0.684 (0.698)	0.000 (0.698)	0.041 (0.739)	0.086 (0.825)	0.009 (0.834)
余 裕 高 $x_3$	0.295	0.171 (0.466)	0.086 (0.552)	0.036 (0.588)	0.108 (0.696)	0.001 (0.697)
天 端 幅 $x_4$	0.024	0.188 (0.212)	0.237 (0.459)	0.133 (0.592)	0.056 (0.648)	0.322 (0.970)
直 高 $x_5$	0.551	0.024 (0.575)	0.000 (0.575)	0.100 (0.675)	0.146 (0.821)	0.009 (0.830)
敷 幅 $x_6$	0.567	0.005 (0.572)	0.003 (0.575)	0.085 (0.660)	0.152 (0.812)	0.001 (0.813)
法 覆 工 種 $x_7$	0.066	0.060 (0.126)	0.400 (0.526)	0.105 (0.631)	0.130 (0.761)	0.000 (0.761)
みお筋距離 $x_8$	0.067	0.031 (0.098)	0.497 (0.595)	0.005 (0.600)	0.068 (0.668)	0.225 (0.893)
堤 防 曲 率 $x_9$	0.362	0.028 (0.390)	0.001 (0.391)	0.213 (0.604)	0.081 (0.685)	0.029 (0.714)
堤防みお筋 角 度 $x_{10}$	0.217	0.000 (0.217)	0.020 (0.237)	0.397 (0.634)	0.071 (0.705)	0.119 (0.824)

( ) 内は、累積寄与率。上段は、各主成分のみの寄与率。

表 7 (2) 各因子に対する寄与率及び累積寄与率（無堤部）

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>
みお筋角度 $y_1$	0.123	0.005 (0.128)	0.098 (0.226)	0.549 (0.775)	0.030 (0.805)	0.136 (0.941)
みお筋変動量 (平面方向) $y_2$	0.218	0.081 (0.299)	0.125 (0.424)	0.122 (0.546)	0.089 (0.635)	0.331 (0.966)
みお筋変動量 (縦断方向) $y_3$	0.240	0.105 (0.345)	0.151 (0.496)	0.149 (0.645)	0.008 (0.653)	0.196 (0.849)
河床縦断勾配 $y_4$	0.210	0.042 (0.252)	0.187 (0.439)	0.005 (0.444)	0.484 (0.928)	0.006 (0.934)
河床変動量 $y_5$	0.037	0.651 (0.688)	0.001 (0.689)	0.000 (0.689)	0.001 (0.690)	0.018 (0.708)
堤・流 下 能 力 $y_6$	0.027	0.238 (0.265)	0.524 (0.789)	0.056 (0.845)	0.000 (0.845)	0.002 (0.847)
河 川 幅 $y_7$	0.372	0.161 (0.533)	0.007 (0.540)	0.136 (0.676)	0.011 (0.687)	0.093 (0.780)
河川工作物密 度 $y_8$	0.446	0.000 (0.446)	0.028 (0.474)	0.040 (0.514)	0.308 (0.822)	0.008 (0.830)

( ) 内は、累積寄与率。上段は、各主成分のみの寄与率。

表 8 (1) 因子負荷量表（有堤部）

主成分 因子	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>
表法 勾 配 $x_1$	-0.328	0.716	0.097	-0.260	0.370	0.121
裏法 勾 配 $x_2$	-0.119	0.827	0.001	0.203	0.292	0.098
余 裕 高 $x_3$	0.543	0.413	0.294	-0.189	-0.328	0.030
天 端 幅 $x_4$	0.154	0.434	-0.497	0.365	-0.236	-0.568
直 高 $x_5$	0.742	-0.157	0.006	0.316	0.382	0.096
敷 幅 $x_6$	0.753	-0.074	0.048	0.292	0.390	0.026
法 覆 工 種 $x_7$	-0.257	-0.245	-0.632	-0.325	0.360	-0.000
みお筋距離 $x_8$	0.260	0.175	-0.705	0.075	-0.261	0.474
堤 防 曲 率 $x_9$	-0.602	-0.169	0.011	0.462	0.285	-0.168
堤防みお筋 角 度 $x_{10}$	0.466	0.008	-0.141	-0.630	0.268	-0.345
累積寄与率	0.227	0.398	0.524	0.642	0.746	0.818

うために必要である。すなわち、各主成分の性格を知っておくことにより、警戒度にどのような種類（例えば、堤防の大きさに関するもの、あるいは、河川の平面形に関するもの、といったもの）のものが影響を与えるかを概念的に判りやすくすることができる。因子負荷量は、次式で表わされる。

$$r(Z_k, x_i) = \sqrt{\lambda_k} \cdot l_{ki} \quad \dots\dots\dots (5)$$

主成分 Z<sub>1</sub> ともとの因子 x<sub>1</sub> との因子負荷量を計算すると次のようになる。

$$r(Z_1, x_1) = \sqrt{2.271} \times (-0.218) = -0.328$$

各主成分について同様の計算を行なった結果を表 8 に示す。その結果より、寄与率の大きい各主成分の性格を考えてみると、有堤部の場合は、Z<sub>1</sub> では x<sub>5</sub>、x<sub>6</sub> との相関が強いことから、堤防の大きさ、Z<sub>2</sub> は堤防の勾配、Z<sub>3</sub> は護岸の強さ及び水衝部の設置、Z<sub>4</sub> は堤防の曲り

表 8 (2) 因子負荷量表 (無堤部)

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>
みお筋角度 $y_1$	0.351	-0.071	0.312	0.740	0.173	0.368
みお筋変動量 (平面方向) $y_2$	0.466	0.285	-0.354	-0.349	-0.297	0.575
みお筋変動量 (縦断方向) $y_3$	-0.489	-0.324	0.388	-0.386	0.088	0.442
河床縦断勾配 $y_4$	-0.458	0.205	-0.432	-0.067	0.695	0.079
河床変動量 $y_5$	0.193	0.807	0.024	0.009	0.030	-0.135
堤・流下能力 $y_6$	-0.165	0.487	0.724	-0.235	0.006	-0.047
河川幅 $y_7$	0.609	-0.401	0.084	-0.368	0.106	-0.304
河川工作物密度 $y_8$	-0.667	0.004	-0.166	0.199	-0.554	-0.089
累積寄与率	0.209	0.369	0.509	0.641	0.758	0.857

方と水のあたる角度、と各々強い関係をもっている主成分として考えることができる。同様に無堤部についても考えてみると、各々の主成分の性格は、E<sub>1</sub>は河川工作物及び河川巾の広さ、E<sub>2</sub>は河川の横断面の変化、E<sub>3</sub>は河道の流下能力の大小、E<sub>4</sub>は河川の水の流れる方向、とに各々強い関係をもっているものとして考えられる。

次に、対象河川の各区分における主成分値と実績災害との関係について検討する。

対象河川の各区分毎の各々の主成分値を計算した。計算の結果求められた主成分値と検証洪水時における実績災害箇所との間で重回帰分析を行ない、各区分で計算された主成分値と検証洪水時の被害箇所との間で、どのような関係があるのかを計算する。

まず、検証洪水時における災害箇所において災害原因と規模（例えば、堤防の全壊あるいは半壊）によって5つのランク分けを行なった。その基準を表9に示す。そのランク値と主成分値とを対応させるために、主成分値も値の大きさによってランク分けを行なった。いま、1例として有堤部における第1主成分Z<sub>1</sub>についてのランク分について考えてみると、対象区分全区分におけるZ<sub>1</sub>の値の最大値は0.864（表10）であり、最小値は-3.027（同）であったから、その間を5等分して、その値の大きい方から5，4，……1とランクづけした。同様の考え方で有堤部における他の主成分、無堤部の各主成分についてランク分けを行なうと表10のとおりとなる。

この主成分値のランクと検証洪水時の被害より求めた実績のランクとの重回帰分析を行なう。ただし、これまで求めてきた主成分値には、先に述べた理由により水位による影響、い

表 9 実績災害の評価基準

ランク	評 価 基 準
1	破堤・欠壊・氾濫がなく被害のなかった区分
2	区分内に堤防等の欠壊箇所がある（本川のみ）
3	区分内に氾濫箇所がある（本川のみ）
4	区分内に堤防等の欠壊・氾濫箇所がある（本川のみ）
5	区分内に破堤箇所がある（本川のみ）

※災害原因が、本川にあるものだけを対象とする。  
○欠壊：ここでは、堤防の一部が破壊したものをいい、堤防が全面的に破壊したものは含まない。

表10 (1) 有堤部因子についての主成分ランクの基準

主成分 \ ランク	1	2	3	4	5
$Z_1$	-3.027 -2.2488	$\}$ -1.4706	$\}$ -0.6924	$\}$ 0.0858	$\}$ 0.864
$Z_2$	-4.078 -1.8734	$\}$ 0.3312	$\}$ 2.5358	$\}$ 4.7404	$\}$ 6.945
$Z_3$	-3.093 -2.2376	$\}$ -1.3822	$\}$ -0.5268	$\}$ 0.3286	$\}$ 1.184
$Z_4$	-4.004 -3.0844	$\}$ -2.1648	$\}$ -1.2452	$\}$ -0.3256	$\}$ 0.594
$Z_5$	-2.374 -0.778	$\}$ -0.818	$\}$ 2.414	$\}$ 4.010	$\}$ 5.606
$Z_6$	-3.815 -2.731	$\}$ -1.647	$\}$ -0.563	$\}$ 0.521	$\}$ 1.605

表 10 (2) 無堤部因子についての主成分のランクの基準

主成分 \ ランク	1	2	3	4	5
$E_1$	-2.931 -2.0396	$\}$ -1.1482	$\}$ -0.2568	$\}$ 0.6346	$\}$ 1.526
$E_2$	-2.296 -1.0788	$\}$ -0.1384	$\}$ 1.3556	$\}$ 2.5728	$\}$ 3.790
$E_3$	-1.770 0.2164	$\}$ 2.2028	$\}$ 4.1892	$\}$ 6.1756	$\}$ 8.162
$E_4$	-2.407 -1.5042	$\}$ -0.6014	$\}$ 0.3014	$\}$ 1.2042	$\}$ 2.107
$E_5$	-1.986 -0.9662	$\}$ 0.0536	$\}$ 1.0734	$\}$ 2.0932	$\}$ 3.113
$E_6$	-1.973 -0.265	$\}$ 1.443	$\}$ 3.151	$\}$ 4.859	$\}$ 6.567

おいて求められた主成分値のランクと出水規模の大きさによるランクとを説明変数に、検証洪水時における実績の警戒度のランクを目的変数にして重回帰分析を行ない、警戒度回帰評価式を作成する。その結果、堤防の構造、河川の平面状態及び出水の規模の大きさ等を考慮の対象にした各区分における警戒度の評価式としては、次の式が得られた。

$$\begin{aligned}
 D'_k = & 0.10195F_{1k} - 0.02631F_{2k} + 0.07073F_{3k} \\
 & - 0.00666F_{4k} + 0.20111F_{5k} - 0.00454F_{6k} \\
 & + 0.33094G_{1k} - 0.41002G_{2k} - 0.20628G_{3k}
 \end{aligned}$$

 表 11 洪水時水位による警戒度  
ランクの基準

ランク	評 価 基 準
1	(天端高-水位) > 計画余裕高
2	計画余裕高 $\geq$ (天端高-水位) > $\frac{1}{2}$ 計画余裕高
3	$\frac{1}{2}$ 計画余裕高 $\geq$ (天端高-水位) > $\frac{1}{5}$ 計画余裕高
4	$\frac{1}{5}$ 計画余裕高 $\geq$ (天端高-水位) > 0
5	0 $\geq$ (天端高-水位)

※水位は破堤した時の水位で、破堤のなかった区間や破堤した時の水位が不明の場合は、痕跡調査等の結果より得た最高水位を採った。

いかえるならば、洪水の規模の大小による要素（出水の大小）が含まれていないので、これを付け加えて重回帰分析を行なう必要がある。その手順を以下に述べる。

まず、河道の状態等が検証洪水時と同じであると考えられる昭和35年当時の堤防形状の資料から、堤防の天端の高さ（無堤部では、河道と堤内地との境界の高さ）を測り、その高さと対象洪水時（昭和36年6月）における最高水位との差において5段階のランク分けを行なった。ランクの基準を表11に示す。この結果を先のランク分けの結果に付け加える。すなわち、各区分に

$$-0.18297 G_{4k} - 0.00606 G_{5k} - 0.05712 G_{6k} \\ + 0.46136 H_k + 1.43613$$

ここで  $F_{ik}$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ): 有堤部区間の  $k$  区間における第  $i$  主成分のランク値,  $G_{jk}$  ( $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ): 無堤部, 有堤部共通の図から求めた  $k$  区間における第  $j$  主成分のランク値,  $H_k$ : 出水規模の大きさによるランク値,  $D'_k$ : 背後の堤内地の土地利用及び支川の影響を考慮していない  $k$  区間の警戒度.

この時の重相関係数は 0.899 となり, ほぼ満足できる値であった. しかしながら, 実績の値と計算値とを比べてみると, 被害の大きかった場所 (値でいうと 5, 4 付近) において, 実績より計算の方がやや小さめの値を示す傾向にある. これは, 1 区間 (ここでは 600m) をある代表値で表わしているため, 1 区間の一部において, 出水時に周囲より安全性の低い所があっても表面に出てこないことの影響が, 被害が大きくなる程表われてくるためと考えられる.

今回の解析においても, 1 区間内の資料の代表性については十分調査を行なったわけであるが, 基礎資料等の事情により, 必ずしも十分でなかった点がここに表われているものと考える. これは, 今後の課題である. 他に適当する場合には, この点に十分注意する必要がある.

以上により求められた式を実際の洪水で使用する場合には, 背後の氾濫原の警戒度 ( $D_k$ ) は, 警戒度評価を実施する時点における資料から, 各主成分の主成分値とランクを求めて上式により計算することになる.

### 1.3 支川の流入が本川の警戒度に与える影響についての考え方

これまでの検討では, 支川の流入が本川へ危険側に働く場合の検討を省いていたが, 支川の破堤等により洪水が氾濫し, これによって本川堤防が裏側から破壊されてくるような場合も考えられる. そのために, 1.2 で求めた結果に支川の影響も付け加える必要がある. 以下, 支川自身の警戒度の算定方法について述べる.

今回の検討対象流域では, 支川の中・下流部の破堤等によって生じる本川堤内地への湛水及び本川堤防の破壊等によって生じる氾濫について考慮の対象とするものとした. 事実, 検証洪水の昭和36年6月の洪水においても, 氾濫等の被害個所で, 支川に原因がある場所が半数近くもあった.

支川の警戒度に関係する因子については, 本来ならば本川と同様に, 各支川の各区間ごとに流下可能流量を求め, 各出水ごとに毎時の流量を求め, 両者によって警戒度を決定する方法によることが望ましいわけである. しかしながら, 前述のように, 解析に使える水文資料及び洪水時に入手できる水文資料が不十分であるため, 本川であげた因子 (表 1) のうち, 流下可能流量にかわるものとして, 流下可能流量に対応する雨量を計算し, それを疎通可能

雨量とし、支川の警戒度は実測雨量（あるいは予測雨量）の疎通可能雨量に対する割合で表わす方法とした。（疎通可能雨量は、時間雨量単位（ピーク値）で取り扱うものとした、以下、「疎通可能時間雨量」という。）本川で解析に用いた他の因子は、支川においては資料が十分でないため解析から除いた、疎通可能時間雨量は、以下に述べる方法で決定した。

まず、今回の対象流域が位置しているN県の河川改修計画では、これらの各支川の改修規模は雨量確率で30年確率に相当しているため、この地区における降雨強度曲線によって30年確率の降雨強度を算出した。使用した降雨強度式は、本川の対象区域の上流部に位置している支川に適用する式と下流部に位置している支川に適用する式との二つに分けた。次に、各支川では、河道の整備状況によって流下能力に違いが生じてくるので、各支川の整備状況を知る必要がある。今回は、N県で行なった河道整備状況調査の結果（飯田建設事務所、1976）を使用することとした。すなわち、降雨確率強度30年確率の計画で①全川にわたって整備が終わっている支川、②降雨強度30年確率の半分程度の流下能力の支川、③降雨強度30年確率の1/3以下の流下能力の支川、とに分類し、ここで、支川の整備状況のランク分けを降雨強度の1/2、1/3等を基準にして行なった理由は、各支川の整備状況を調べたN県の調査が、①～③のような分類で行なわれており、その資料を使用したためである。次に、各支川毎の30年確率降雨を計算し、各支川の整備状況により、降雨強度30年確率の値の1/2あるいは1/3の値を求めた。ただし次に述べる理由により土砂混入率20%を引いた値を各支川の疎通可能時間雨量とした。この流域では土砂の流出が多く、これを無視できないことから土砂の混入分を差し引くこととした。この場合の差し引き量については、洪水時の実測値がなく、はっきりとした決定方法が見つけにくい、今回はN県が昭和42年に行なった調査結果をもとに、各支川の時間降雨強度に河道整備状況の検討を付け加えた雨量から、一率20%を差し引いた値を各々の支川の疎通可能時間雨量として採用した。

疎通可能時間雨量が求められれば、この雨量に対するその時刻における実測雨量（予測雨量）の比率を求め、この比率を次の方法によって支川の警戒度に換算した。まず検証洪水時の実績災害において、支川の影響によって本川堤防が破壊されたため生じた被害は、その規模の大きさ、影響範囲等から推定して、実績のランク基準（表9）の3に相当すると考えた。

表 12 支川疎通可能時間雨量の算出方法のフロー

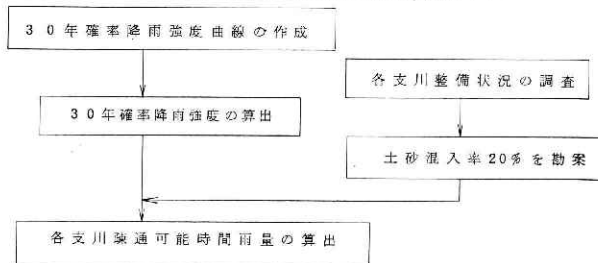


表-14 支川自身の警戒度と本川の警戒度の関係

そのため支川が本川堤防に与える影響は最大でランク3であるとして、支川のランクを0～3の4段階に分類した。その分類は、上述の疎通可能時間雨量と時間毎の降雨との比率によって行なうものとした、ここでは、ある支川流域

表 13 支川警戒度のランク基準

ランク	基 準
0	$R_M < 0.8R_C$
1	$0.8R_C \leq R_M < R_C$
2	$R_C \leq R_M < 1.2R_C$
3	$1.2R_C \leq R_M$

※ $R_M$ ：実績時間雨量(mm),

$R_C$ ：疎通可能時間雨量(mm),

1.2 $R_C$  以上をランク 3 としたのは、この地域における本川の計画確率降雨(1/100)と支川確率降雨(1/30)との比が約 1.2 であるからである。

における流域平均時間雨量が、疎通可能時間雨量の 80% 以下ならランク 0、80%～100% ならランク 1 とし、以下表 13 のとおりのランク分けを行なった。このようにして求めた各支川の警戒度の評価結果を、表 14 のような形で本川の警戒度と結びつけた。すなわち、支川の影響を考えた警戒度の回帰評価式は、

$$ND_k = D_k + d_k \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで  $ND_k$ ：本川と支川を合せた警戒度

$D_k$ ：1.2 で求めた警戒度

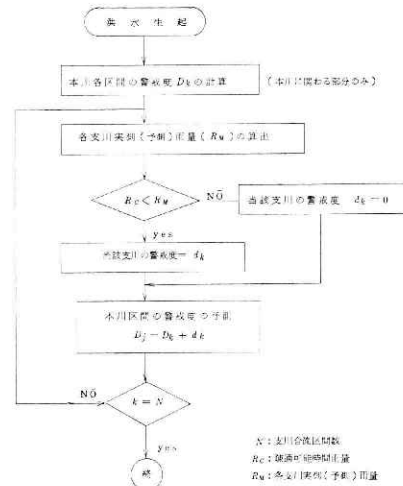
$d_k$ ：支川自身の警戒度

#### 1.4 背後地における土地利用面からの検討

これまで述べてきた評価方法が、絶対評価でなく相対的な評価の性格を持つものとして考えてきたため、堤内地への警戒度を考える場合（先にも述べたように、水防団が出動する時の出動先の優先順位といったようなもの）には、背後地の土地利用を大きな要素として考えておく必要がある。すなわち、河道形状・堤防形状・出水規模等の結果から、ほぼ同じ程度の警戒度の区間が 2 個所以上あった場合に、警戒度の優先順位は、背後地の土地利用によって変わるべきである。例えば、背後地の土地利用を考えない警戒度が、同じである区間が 2 個所以上あった場合に、背後地が市街地である場合と山地である場合とでは、総体的な警戒度は当然違わなければならないはずである。

今回の方法では、背後地の土地利用による違いを背後地における資産額の大きさによって決めるものとした。すなわち、ある区間において堤防の破堤等により堤内地側に氾濫が生じた場合、その氾濫域内にどの程度の資産があるかを算出し（想定被害額）、その額の大きさによって背後地の重要度を決定する方法をとった。各区間における重要度の決定について

表 14 支川自身の警戒度と本川の警戒度の関係





は、想定される被害額の大きさによって四つのランクに分類し、後に述べる理由で、避難個所によるランクを加え五つのランクを決め、その各ランクを重要度とする方法を採用した。このランク分けに避難個所のある場所を特に別扱いとしたのは、洪水時に人命を守ることが最も重要なことであり、洪水氾濫域内に災害時の避難場所がある場合は、その場所の重要度が最も高いと考えたからである。それ以外の場所では、被害額の大きさによって分類し、その場合の被害額の算出方法は、次の式によった。

$$S_k = M \cdot I \cdot A_k + K \cdot N_k \quad \dots\dots\dots(7)$$

$S_k$ ：想定氾濫域内の資産（千円）

$M$ ：水稻10アール当り平均収量（kg/10アール）

$I$ ：米穀1トン当り価格（千円/トン）

$K$ ：1世帯当り家財評価額（千円/世帯）

$A_k$ ： $k$ 区間の堤防破堤等により被害をうける堤内地の水田面積（ $\text{km}^2$ ）

$N_k$ ： $A_k$ 区域における家屋数（世帯）

堤防の破堤等によってもたらされる堤内地の氾濫域の決定については、この流域は急流であり堤内地において河道から出た洪水の流水が大きく、上流方向へ逆流することは無視できるとした。故に、その区間における堤防の天端高以上は、堤内地内の洪水流は上流へ溯らないとし、堤防天端高と同じ等高線の範囲を氾濫域とした。これを1.3の結果に付け加えたものが、最終的な警戒度回帰式である。

$$GD_k = ND_k + SD_k \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで  $SD_k$ ：背後地の土地利用による  $k$  区間の警戒度、 $ND_k$ ：1.3 で求めた警戒度、 $GD_k$ ：各区間における  $k$  区間の総体的警戒度

## 2. 本手法の検証方法

本来、この方法は、対象洪水以外に実際に発生した洪水で検証を行なうことが必要であると考えが、この対象流域において昭和36年6月出水以後に氾濫をもたらしうような大出水が無く、今回の検討結果を実績の洪水で検証することはできなかった。そこで、昭和36年6月の災害直後から現況時までの間に行なわれた河川改修工事が、出水に対して安全度を高くしている（災害原因が、外水に起因するものに限る。）という概念が正しいものとした立場からの検証を行なった。すなわち、現況河道と検証洪水時直前の昭和35年当時の河道を(6)式を求めて並列的に計算し、異なった二つの時期の値を比較することにより結果を相対的に検証することとした。

その結果を表15に示す。これによって河床が部分的に高くなって警戒度を大きくしている区間以外においては、昭和35年当時の警戒度の方が、現況の警戒度より大きな値を示しているという結果をえた。（検証において比較した警戒度は、ともに背後地の土地利用を含まな



表 15 検 証 結 果

比較計算した区間 139.6km～192.4kmの左岸42区間，右岸43区間の計85区間	
昭和35年当時より河床が高くなっている区間	19区間
上記以外の区間で昭和35年当時より現況の方が警戒度が小さい値を示している区間	66区間

い.)このことから，この方法は，河川の各区間における警戒度を，その河川の各区間相互の相対評価として表わせるものであると考えて良い。(表15)

### 3. 終わりに

本来，危険箇所を知るには，地元住民の経験にもとづく知識が最も有効な手段であり，これに，現地調査，過去における土地利用の調査等の結果にもとづいて検討を重ねることが必要である。しかし，土地利用形態の変化，河川改修事業の実施等により河川を取り巻く環境の変化が著しい場合等においては，過去の経験が生かしくいことも生じてくる。又，現地調査等の結果，ある区間における相互の相対的評価の難しいような場所等（例えば，A・B二つの区間において，A区間では，堤防構造が洪水に対して弱いように見うけられ，B区間では，河道流線の平面形状が洪水に対して弱いと見うけられるというような場合等）も考えられる。今回の報告は，このような場合における危険箇所を，定量的に推定する方法を見いだすための一試みである。

この方法における問題点として，次のことがあげられる。

- ある区間（例えば，1km区間）における各々の要素を，ある代表値で表わしている。
- 過去に災害の実績があり，その当時の資料がかなり整っていないと評価式ができない。
- 実績の災害原因の分析・評価に若干の主観が入る。

以上の点は，このような解析を行なう場合に，避けられない点である。このような問題点を含みながらも，ある流域において各区間ごとに相対的な警戒度を推定しようとする場合に，ひとつの有用な方法であらう。

### 参 考 文 献

- 1) 飯田建設事務所(1967): 管内各河川の高水流量の検討及び河川調査資料，長野県飯田建設事務所。
- 2) 入澤 実(1977): 天竜川における洪水予報と危険度評価について，第31回建設省技術研究会報告，648～652。
- 3) 奥野忠一他(1971): 多変量解析法，日科技連，159～258。
- 4) 奥野忠一他(1976): 続多変量解析法，日科技連，115～146。
- 5) 天竜川上流工事事務所(1976): 支川合流の検討報告書，建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所。

(1979年12月10日 原稿受理)