

山地内都市の洪水災害危険度評価

1. はじめに
2. 洪水流力
3. 洪水危険度指標
4. 限界降雨強度
5. 災害危険度評価
6. 人的被害規模規定要因

水谷武司*

要 約

山地内や山麓の谷底低地に位置する都市市街地において生じた洪水災害（大量の死者や家屋損壊をもたらした災害の大部分はこれに含まれる）を分析して、家屋の全壊流失を引き起こす破壊力の大きい洪水（山地洪水）の発生条件を求めた。洪水流中にある物体の受ける力（洪水流力）は、単位時間に単位幅を通過する流水のもつ運動量、すなわち、流速の二乗と水深との積で与えられる。これは、単位幅流量と地表面勾配（ S ）の関数によって置き換えられ、さらに単位幅流量は降雨強度、流域面積（ A ）および谷底地面幅（ W ）の関数によって近似的に表される。災害規模は洪水流力の大きさ以外に、社会的条件の影響も受ける。1946年以降に生じた30の洪水災害事例の判別分析により、

$$(P_{12} S A^{3/4} / W) K_1 K_2 > 110$$

の場合に、多数の（ほぼ50棟以上）の家屋全壊流失をもたらす山地洪水災害が発生しているという結果が得られた。ここに、 P_{12} は最大12時間雨量（流域平均値）である。 K_1 は時代係数で、1959年以前が1.45、1960年以降が1.0、 K_2 は地域係数で、近畿以東の東日本が1.55、西日本が1.0である。この式の左辺は洪水災害危険度を表す総合的指標となる。上式を変形して、災害発生限界降雨強度を地形素因と社会的要因の関数で与える式が得られる。この限界降雨強度、さらにはその再現期間は、危険度を表す簡潔な指標となる。近年大きな災害を被っていない谷底内都市について、災害発生限界日雨量およびその再現期間を求めた。人的被害の規模を規定する要因には、その影響度の順に、時代、洪水流力、時刻、地域の要因があげられる。ただし1960年以降、人的被害度に低下の傾向は認められない。

* 東京都立大学都市研究センター非常勤研究員
（科学技術庁防災科学技術研究所）

1 はじめに

過去の河川洪水災害をみてもと、多数の人命損失や家屋の全壊流失をもたらした災害事例のほとんど総ては、山地内の谷底や山麓の谷の出口付近（扇状地など）に位置する市街地が、その谷底を流れる河川の大規模な氾濫を被った場合であることがわかる。このような地形条件のところでは、河床勾配が比較的大きいことと、側面に迫る山地によって氾濫流の広がり制約されることのために、上流の山地流域内で豪雨が降った場合、流速も水深も大きい激しい流れの洪水が生じやすいためである。山地内で山崩れや土石流が多数発生すると、洪水流は多量の土砂・流木を運ぶので、その破壊力はさらに大きくなる。また、その水位はまだ豪雨の続くさなかに急速に上昇するので、避難行動や水防活動が困難となる。

このような特徴をもつ、山地内谷底や山麓における破壊力の大きい洪水を、下流の広く緩やかな平野で生ずる洪水と区別して、山地洪水と名付けることとする。広い平野における洪水、いわば平野洪水では、氾濫水の側方への拡散の余地が大きいことと、地表面勾配が比較的緩やかであることのために、その水深や流速は、破堤口付近などを除き、通常あまり大きくはならない。

山地流域に豪雨が降ると、その雨水はすぐさま谷に集中し、洪水流となって谷底内を流下する。狭い谷底低地面内は豪雨時の河道、いわば河川敷ともいえる場所である。このため、谷底内や山麓の出口に位置する都市は繰り返し水害をうけている。豪雨の規模が大きいと、過去の災害事例が示すように、著しい人的・物的被害が生ずる可能性がある。したがって、この山地洪水の危険度評価は重要である。

洪水氾濫の規模・性状は、入力条件である雨の強度と、それを受け入れ運ぶ働きをする地形条件とによってほぼ決められる。また、洪水被害の規模には、人間・社会の要因が関係する。したがって、洪水災害危険度の評価は、降雨要因、地形など地学的素因、および社会的要因の、三種の要因

を組み入れることによって、より確かなものとなる。水谷（1986）は、降雨と地形の要因による山地洪水危険指標を求めた。本稿では、分析の対象とする災害事例を増やし、社会的要因を加え、多変量解析などにより、洪水危険度評価方法についてのより詳細な検討を行った。

2 洪水流

流体中の物体が流体からうける押圧力は、その物体が流体の運動量を変化させることの反作用によって生ずるものと考えられる（金原編，1963）。密度 ρ 、速度 v の流体のもつ単位体積あたりの運動量は ρv で表され、また、単位時間に運動量が変わえられる流体の量は v に比例するから、流体の押圧力は ρv^2 に比例する。物体が全体として受ける力は流れの中にある部分の断面積に比例するが、建物のような物体が流れの押圧力に抵抗する力はその物体の幅（基礎の長さ）に比例するものとして、流体の及ぼす破壊作用力 F は、単位幅あたり押圧力によって評価できるものとする。すなわち、単位幅あたり断面積（＝水深）を h 、比例定数を k として、

$$F = k \rho h v^2 \quad (1)$$

が得られる。ここで水深は、物体に働く浮力の大きさに関係する値でもある。置き基礎の木造建物のような場合、浮力が加わると流れやすくなる。河田・中川（1984）は、1983年三隅川洪水災害について、 $h v^2$ で表される流体力が家屋の全壊・流失と相関性があることを示している。また、高橋ら（1985）は流体力に基づき家屋流失の危険度評価を行っている。

Manning の式と連続の条件

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} I^{1/2}$$

$$Q = v h$$

を使用して、(1) 式の F は、単位幅あたり流量 Q と水面勾配 I の関数として

$$F = k \rho n^{-0.6} Q^{1.4} I^{0.3} \quad (2)$$

と表される。ここに、 n はManningの粗度係数である。

この Q と I は洪水時（災害時）における観測値である。しかし危険度は災害前に行われてこそ意義あるものである。そこでこの Q と I をできるかぎり流域の素因条件（主として地形量）で置き換えることを試みる。

ある時間内に流域中に注入された降雨量は、流域面積 A とその時間内の流域平均降雨強度 P との積で表される。この降雨の流出水が幅 W の谷底低地面内の全面を流れる場合の単位幅流量 Q は AP/W の関数で近似的に表される。Leopold et al (1964)は、洪水時に流路の全断面を流れる流量が流域面積のほぼ $3/4$ 乗に比例することを観測データに基づいて示している。年平均流量といったような長期間の平均的流量は流域面積の一乗に比例するが、洪水流量に関しては、流域内における降雨分布の不均一さ、流域内での一時貯留、流域の各部分からの洪水到達時間の違いなどにより、そのべき指数値は1よりも小さくなる。このことから、 Q は $PA^{3/4}/W$ のべき関数で与えられるものと仮定する。また、水面勾配 I は谷底低地面勾配 S に等しいものとする。

以上のことから、(2)式は、比例定数を C とし、また、べき指数を m 、 n と一般的に表して、

$$F = C \left(\frac{PA^{3/4}}{W} \right)^m S^n \quad (3)$$

と書き換えられるものとする。この F を洪水流力と名付ける。

災害の規模は最大洪水流量の大きさに関係するところが多い。最大洪水流量を支配する降雨継続時間は主として流域面積に関係する。日本における数十～数百 km^2 の流域では、6～12時間程度の最大降雨強度が最も影響を与えている。

3 洪水危険度指標

つぎに、洪水災害事例を使用して、(3)式の右辺の値が災害の規模に関係し、したがって危険度指標になり得るか否かにつき検討してみる。表1は、1946年以降に、山地内谷底低地、山麓の谷

の出口付近、および大起伏山地を上流にもつ丘陵・台地内の谷底低地に位置する都市市街地が、大きな洪水災害を被った事例を示した。氾濫は谷底低地内全面に及び、被災家屋数は数百戸以上に達している。

この場合、氾濫流の流速や水深が小さく、したがって洪水流力 F が小さければ、氾濫域が広くて被災家屋数が非常に多いとしても、その被害の程度は床上や床下の浸水どまりで、全壊、半壊、流失等の家屋損壊は生じない。しかし、流速や水深が大きくて、洪水流力がある強度以上になると、浸水被害に加えて、損壊被害が生ずるようになるであろう。ここでは家屋の全壊流失が生じた場合を（狭義の）山地洪水災害とよぶこととする。

図1には、大規模山地洪水災害発生地の一例として、1957年に死者539、全壊流失726という大災害を被った諫早の場合を示した。ここでは1699年（元禄12年）に、やはり死者500人の大災害が生じている。

このように、家屋被害の種類と規模によって、そこで生じた洪水流の強さの程度を推定できるものと考えられる。ただし、各市街地の自然的、社会的条件に違いがあるので、被害量と F との間に定量的な関係は見だし難いであろう。そこでまず、家屋損壊を引き起こす限界の F 値を、表1のデータを使用した判別解析により求めてみる。

表に示したのは原則として都市の洪水災害事例であるが、山地内谷底に位置する町村の中心市街にて大量の家屋損壊被害が生じた災害5例も加えた。また、限界 F 値を求めやすくするために、同一都市にて異なる年に生じた災害事例（降雨強度だけが異なり地形条件と社会要因はほぼ同じ）をいくつか加えた。なお、山地内谷底ではあるが、地表面勾配の小さい河口部で生じた災害（1948年アイオン台風による宮古市の水害、1953年南近畿水害時の御坊市の災害、1967年7月水害時の伊万里市の水害など）は除いた。

これら30の災害事例は、多数の家屋全壊流失が生じた場合と、浸水被害のみであった場合とに分けられるが、その中間的狀態として、全壊流失数が50戸以下の場合（No.14～18）を区別し、これ

表1 山地内谷底における洪水災害

No.	年月	災害名	被災市町	氾濫河川	A (km ²)	S	W (km)	P ₂₄ (mm)	P ₁₂ (mm)	P ₃ (mm)	H	D
1	'47.9	カスリン台風	一関市	磐井川	290	1/160	[1.2]	155*	145	-	331	101 N
2	'47.9	"	桐生市	桐生川	90	1/120	0.95	260	220	120	}300	144 N
3	'47.9	"	桐生市	渡良瀬川	492	1/150	1.2	220	200	120		N
4	'47.9	"	足利市	渡良瀬川	727	1/400	1.4	220	200	120		205
5	'48.9	アイオン台風	一関市	磐井川	290	1/160	[1.2]	260	225	140	802	571 N
6	'53.6	西日本水害	熊本市	白川	480	1/350	1.0	400	320	130	1513	286 N
7	'53.6	"	日田市	筑後川	1120	1/180	1.25	320	255	110	651	5
8	'57.7	諫早水害	諫早市	本明川	40	1/250	0.4	720	590	290	726	539 N
9	'58.9	狩野川台風	伊東市	伊東大川	47	1/120	0.45	360	305	180	201	58 N
10	'58.9	"	大仁町	狩野川	354	1/350	0.85	420	350	190	188	220 N
11	'67.8	羽越水害	小国町	横川	272	1/180	1.2	450	345	100	77	2 N
12	'67.8	"	関川村	荒川	950	1/400	1.2	420	320	90	(371)	(39) N
13	'83.7	島根水害	三隅町	三隅川	220	1/300	0.35	380	315	170	132	5
14	'49.9	キティ台風	桐生市	渡良瀬川	492	1/150	1.4	120*	115	90	36	6 N
15	'53.9	13号台風	舞鶴市	伊佐津川	81	1/230	0.9	450*	360	-	[20]	
16	'65.7	40.7水害	人吉市	球磨川	1220	1/320	1.0	180	160	110	24	2 N
17	'83.7	島根水害	益田市	益田川	104	1/160	0.6	300	260	170	(76)	3
18	'86.8	10号台風	茂木町	逆川	68	1/200	0.4	320	255	105	23	1 N
19	'58.7	33.7水害	浜田市	浜田川	57	1/250	0.35	260*	210	-		
20	'67.7	42.7水害	佐世保市	佐世保川	14	1/120	0.25	205*	195	180		
21	'69.8	44.8水害	加茂市	加茂川	60	1/200	0.7	200*	175	120*		
22	'72.7	47.7水害	三次市	馬洗川	720	1/350	1.4	180	150	75*		
23	'72.7	"	益田市	益田川	104	1/160	0.6	210	170	80		
24	'72.7	"	浜田市	浜田川	57	1/250	0.35	270	210	75		
25	'72.7	"	三隅町	三隅川	220	1/300	0.35	260	205	75		
26	'82.7	長崎水害	長崎市	中島川	16	1/80	0.45	530	465	320		N
27	'82.7	"	長崎市	八郎川	28	1/350	0.3	580	510	350		N
28	'82.7	"	諫早市	本明川	40	1/250	0.4	440	360	170		N
29	'83.7	島根水害	浜田市	浜田川	57	1/250	0.35	350	290	150		
30	'88.7	63.7水害	浜田市	浜田川	57	1/250	0.35	320	275	170		

A: 流域面積 S: 谷底低地面勾配 W: 谷底低地面幅 P₂₄: 最大24時間雨量 P₁₂: 最大12時間雨量 P₃: 最大3時間雨量 H: 家屋全壊流失棟数 D: 死者数 []: 概数 (): 山崩れ・土石流被害を含む *: 1観測所のデータ N: タ〜夜に発生

ら3グループを最もよく判別する条件を求めてみる。なお、No.17の益田市の災害では76戸の全壊が生じているが、この多くは斜面崩壊によって生じているので、これは中間グループに分類される。大災害の記録はよく残されているのに対し、小規模被害のデータは年を遡るにつれ得にくくなることの結果、浸水被害のみの事例は最近のものを主とする結果となった。

表1には、洪水流力Fを規定する各種地形量および降雨量も示した。A (km²)は、氾濫河川についての、当該被災市街地よりも上流の流域面積で

ある。Sは被災市街地の位置する谷底低地面の平均勾配である。低地面が平滑でないため平均勾配が得にくい場合には、その区間の河床勾配も参考にしてSを求めた。W (km)は、被害の最も著しかった市街地部分についての、谷底低地面の幅の平均値である。一般に谷幅の変化は大きい、とくに扇状地の場合(桐生市など)はそうであるので、これは概算的な値である。No.1, 5の一関市の場合、谷の出口の開けた部分に位置するので、破堤氾濫が生じた右岸側での氾濫主流の幅を基に、Wに相当するおおよその値を与えた。

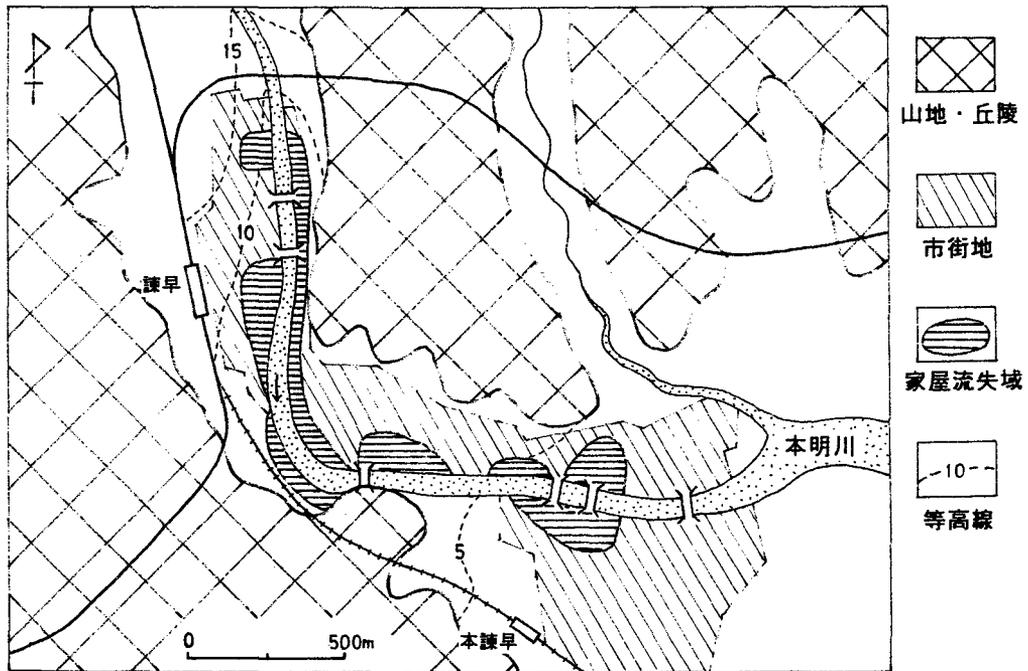


図1 諫早市街の地形条件と1957年の被災域

諫早中心市街は多良火山麓の狭い谷底低地と谷の出口のデルタに位置する。市街地部で低地面勾配が急減し、河道は直角に曲がり、谷幅もやや狭くなっているため、洪水流の水深が大きくなりやすい。

最大24時間雨量 (P_{24}) および最大3時間雨量 (P_3) は、既存のあるいは新たに作成した雨量分布図を使用して求めた流域平均値である。ただし、流域内一地点の観測値しか得られなかった場合が少数ある。また、1940、50年代の災害については、任意24時間ではなくて日雨量（朝9hから翌日の9hまでの値）の最大しか得られなかった場合がある。最大12時間雨量 (P_{12}) の値は通常の雨量記録には示されていないので、 P_{24} と P_3 とから推定した。諫早水害、羽越水害、長崎水害など、時間雨量データが得られる代表10降雨の実績値の平均から、

$$\frac{P_{12} - P_3}{P_{24} - P_3} = 0.71$$

という関係式を得て、これにより P_{12} を計算した。 P_3 が得られていない場合には、同じ10降雨のデータから求めた

$$\frac{P_{12}}{P_{24}} = 0.82$$

によって推定した。

災害の規模は、基本的には、洪水流力などの自然力強度と、人間・社会の側の災害抵抗力あるいは脆弱性の程度、とによって決められる。社会の災害抵抗力は時代とともに変化する。第二次大戦後の十数年間は、防災水準の低下などのために、大災害が頻発した。表1においても、大規模災害の多くは1940年代と50年代のものである。1960年代に入って風水害の被害規模は大きく低下した。これには、1959年伊勢湾台風災害という巨大災害の経験、急速に普及したテレビによる防災情報の効果的な伝達、などが寄与している。

また、災害抵抗力には地域差も認められる。豪雨の頻度が大きく、台風も頻繁に上陸する西日本では、東日本に比べ、社会的および自然的条件からみた災害抵抗性が高い。たとえば、九州における水害発生限界雨量は北海道におけるその約2倍であり、また、気象庁の大雨警報の雨量基準値にもやはり約2倍の差がある。

人的災害に関しては、さらに、住民の意識や行動を規定する要因がその規模に関係する。このような要因のうちの最も普遍的なものとして、災害発生時刻があげられる。都市と農山村の違いも一般的な要因としてあげられるが、ここでは原則として都市域を対象としているので、これは除く。災害経験の要因はその影響の仕方が様々であるので取り入れるのが難しい。

以上のことから、
洪水被害規模 = f {洪水流量, 時代 (防災水準), 地域 (災害抵抗性), 時刻 (人間行動)} と表すことができるものと考えられる。ここで洪水流量は(2)式から求められる連続変数であり、それ以外は質的要因 (アイテムカテゴリー変数) である。

家屋損壊の程度で表す被害規模は、それが基本的には物理的な破壊のプロセスによるものであるから、洪水流量が基本的要因であり、時代と地域の要因はそれ補正する値を与えるものとする。これは対数線形関係にあるものと仮定する、すなわち、

$$\log(\text{家屋損壊規模}) = a \log(\text{洪水流量}) + b \text{時代 (1959年以前, 1960年以後)} + c \text{地域 (東日本, 西日本)}$$

で与えられるものとする。なお、データ数は30とあまり多くはないので、時代および地域の区分は大きくとった。ここで西日本は中国、四国、九州を含む地域、東日本は近畿以東の地域である。表1のデータでは、家屋被害量と洪水流量の間には定量的な関係は見だし難いと推定されたので、目的変数である家屋損壊規模を、さきに示した3グループで、すなわちアイテムカテゴリー変数で与えることとする。このようにして、説明変数が連続変数とカテゴリー変数である場合の数量化II類による判別解析によって、係数 $B (= 10^b)$ および $C (= 10^c)$ 、いわば時代係数および地域係数を求める。

表1の30のデータを使用した計算の結果、

$$B = \begin{cases} 1.45(1959年以前) \\ 1.00(1960年以後) \end{cases} \quad C = \begin{cases} 1.55(東日本) \\ 1.00(西日本) \end{cases}$$

が得られた。これは、1959年以前については洪水

流量を1.45倍に割増しして評価し (言い替えれば防災水準が $1/1.45$ であったと評価し)、東日本については、1.55倍に割増しして評価すると、家屋損壊規模の3グループがよく判別されることを意味する。

図2には、3グループに分けて、個々の災害例についての洪水流量 $SP_{12}A^{3/4}/W$ の値、および補正した洪水流量 $(SP_{12}A^{3/4}/W) K_1 K_2$ の値を示した。補正前の洪水流量の場合には、被害大 (家屋全壊流失数50以上) のグループと被害小 (浸水のみ) のグループとの判別の成功率は80%である。しかし、時代係数および地域係数を導入すると、成功率は100%となり両グループは完全に分離される。また、被害中 (全壊流失数50以下) のグループはその中間付近に位置する。被害大のグループの下限の値は、図中に示すように、110である。すなわち、

$$(SP_{12}A^{3/4}/W) K_1 K_2 > 110 \quad (4)$$

の条件が満たされたときに、多数 (およそ50戸以上) の家屋全壊流失を引き起こす激しい洪水流による災害 (山地洪水災害) が発生している。したがって、(4)式の左辺の値は洪水災害危険度を示す指標となる。これは降雨要因 (誘因)、地形要因 (自然素因) および社会的要因を含む総合的な指標である。

この時代要因には、家屋構造の時間的変化の条件が含まれているであろう。1950年制定の建築基準法によって、それまで一般的であった置き基礎に代わり、土台をコンクリート基礎に緊結することが義務づけられた。また、平屋に代わり二階建てがしだいに多くなってきた。これらは洪水の押圧力や浮力に対する抵抗力を増す。二階は手近な避難場所を提供し、また、家が簡単には流されなくなったことにより、人的被害もまた減少する結果となった。

近畿以東の東日本についての地域係数1.55に合理的な説明を与えることは必ずしも容易ではない。データ数を増やす、とくに、東日本における小中規模災害の事例を増やすことによって、この係数値がかなり小さくなる可能性がある。なお、台風

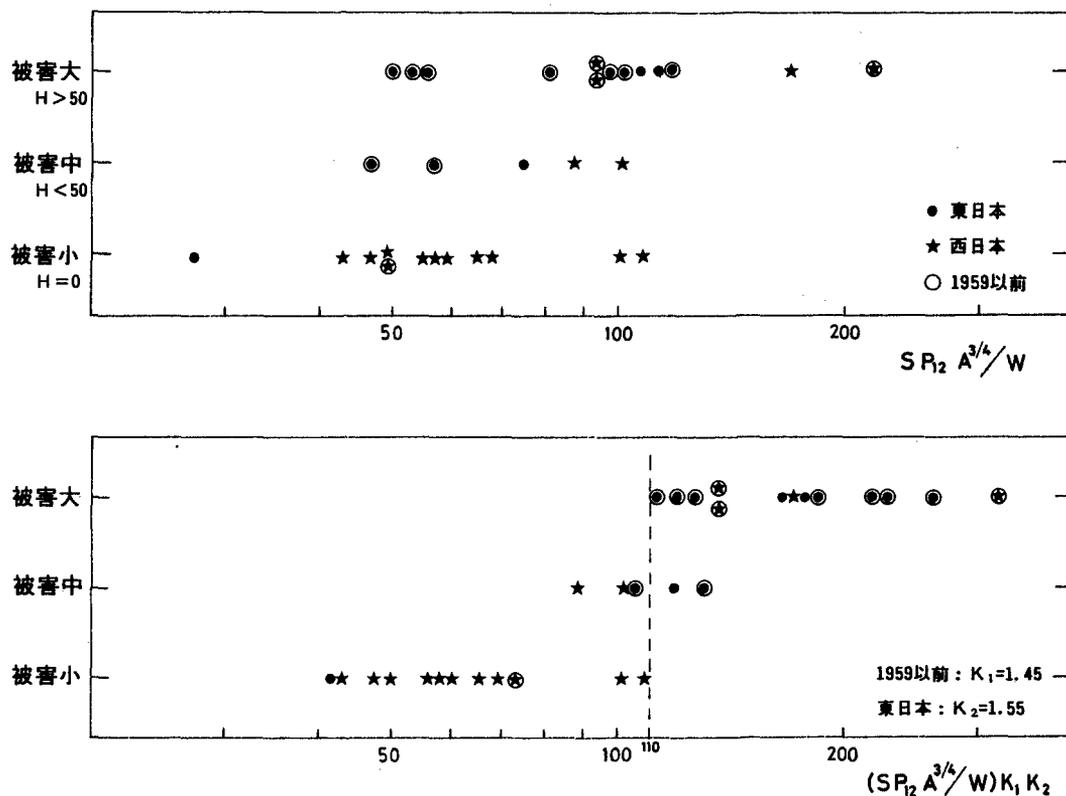


図2 家屋被害規模でみた3グループの判別

上の図は洪水流量 ($SP_{12} A^{3/4} / W$) のみの場合。下の図は時代係数 (K_1) および地域係数 (K_2) を加えた場合。H：家屋全壊流失数

による建物被害について回帰分析を行った結果では、東日本と西日本の間に有意の地域差は認められなかった。

洪水流が、山崩れや土石流によって生産された土砂や流木を大量に運ぶと、その破壊力は大きく増す。山崩れ、土石流の発生には地質や地形起伏が関係する。地質や地形起伏は、雨水の流出率や流出速度を通じて洪水の規模にも関係する。そこで、質的要因である地質については火山と非火山とに区分し、地形起伏に関しては、流域平均起伏量比（流域最高点との標高差を主流路長で割った値）を求めて、判別分析を行ったが、いずれも有意な要因とは認められなかった。

4 限界降雨強度

(4)式を変形して

$$P_{12} = \frac{110}{(SA^{3/4}/W) K_1 K_2} \quad (5)$$

が導かれる。これは山地洪水災害の発生限界を示す最大12時間雨量を、地形要因と社会的要因によって与える式である。図3には、30の災害例について、 P_{12} と $(SA^{3/4}/W) K_1 K_2$ との関係を示した。(5)式は図中の直線で示されるが、これは被害大と被害小のグループを完全に分離し、被害中のグループはこの直線の回りにプロットされている。洪水危険度はそれを引き起こす降雨強度によって簡潔に表される。したがって、この降雨強

度を与える素因値である。 $(SA^{3/4}/W) K_1 K_2$ は的確な洪水危険指標となる。

最大12時間雨量は、ここで対象とした流域の平均規模約200km²の流域で生ずる最大洪水流量に最も関係すると思われるので使用したが、これは一般に使われている値ではないし、また、ここでは推定式によって求めている。そこでつぎに、最も一般的に使用される最大24時間雨量について検討してみる。

図4には、最大24時間雨量 P_{24} と洪水危険指標素因値 $(SA^{3/4}/W) K_1 K_2$ との関係を示した。被害大の事例の下限を示し、かつ、被害中のグループのほぼ中央を通る直線は図のように引くことができる。これは勾配がマイナス1の直線であって、

$$P_{24} = \frac{125}{(SA^{3/4}/W) K_1 K_2} \quad (6)$$

と表される。被害小の事例でこの直線の右上にプロットされるのはわずか一例である。この式に

よって山地洪水災害の発生限界を示す24時間雨量を求めることができる。

最大3時間雨量の場合については、図5に示した。被害大および被害小のグループを最もよく分離し、かつ、勾配がマイナス1の直線は図のように引くことができる。この直線の式、すなわち、限界3時間雨量は

$$P_3 = \frac{50}{(SA^{3/4}/W) K_1 K_2} \quad (7)$$

によって与えられる。

以上の図においては、各データを一点にプロットしているが、実際には谷底低地面の幅や勾配は、かなりの幅をもった値としたほうがよい。したがって、これらの式もあくまでこれら地形量の平均的な値を使用した場合のものである。

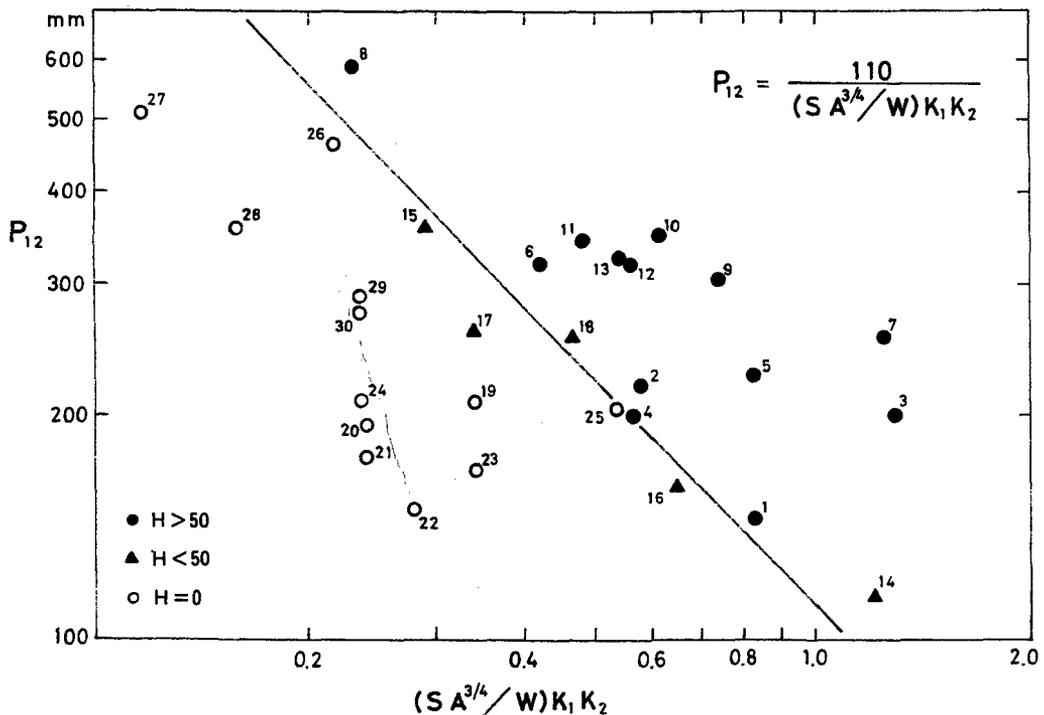


図3 山地洪水災害発生限界12時間雨量
H：家屋全壊流失数

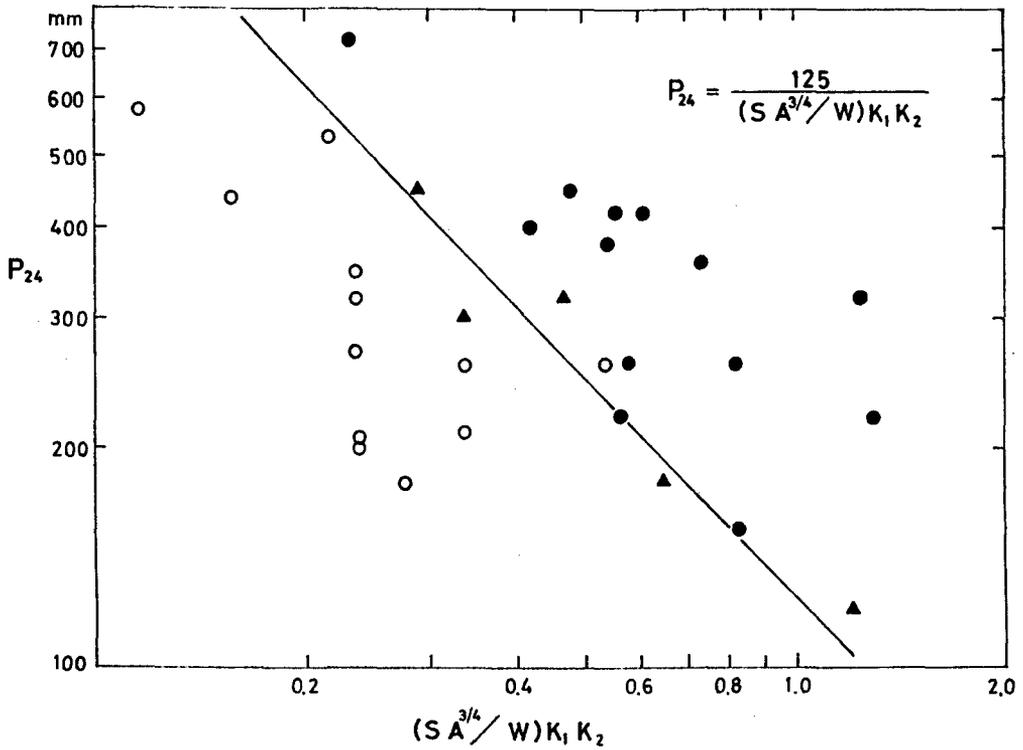


図4 山地洪水災害発生限界24時間雨量

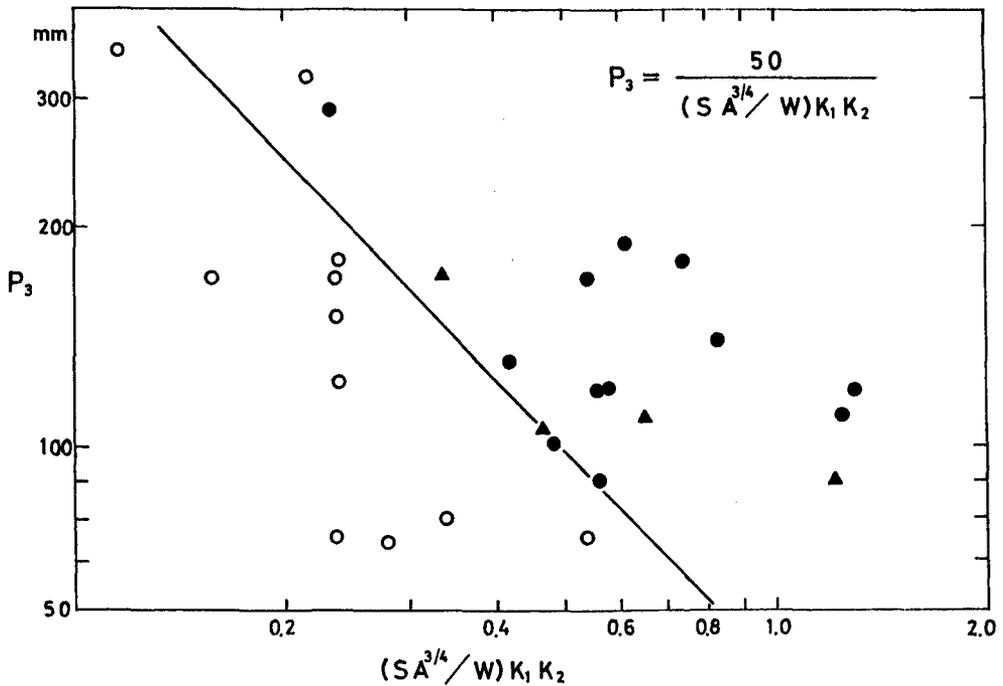


図5 山地洪水災害発生限界3時間雨量

5 災害危険度評価

(6)式によって、谷底低地や扇状地に市街地が位置する都市で、最近大きな洪水災害を被っていないものについて、山地洪水災害の危険度評価を行う。扇状地に位置する都市はかなり多いが、それらのうちの、谷底状を呈する扇頂部に密集市街地がある都市や、流域面積および勾配が大きいので氾濫した場合の危険が大きいと思われる都市をいくつか対象とした。ただし近年では扇状地都市において大きな災害は発生していない。

図6は、対象とした14都市について求めた $(SA^{3/4}/W) K_1 K_2$ の値を、限界24時間雨量を与える(6)式の直線上にプロットして示したものである。なお、ここで K_1 は1.0であり、 K_2 は東日本が1.55、西日本が1.0である。この各プロット点の縦軸の値が、それぞれの都市における山地洪

水災害発生限界24時間雨量を与える。ただしこの雨量は流域全体の平均値である。

この図で、長野市の P_{24} 値は約120mmと小さい(ただしこれは、危険の大きい扇状部で想定される氾濫幅に基づいて計算した概略の値である)。しかし長野県の北部は寡雨地帯であるので、限界雨量が小さいからといって、危険度が大きいということとはならない。豪雨頻度にはかなりの地域差があるので、これら P_{24} 値を再現期間で表せば、相対危険度がより正しく表現されるであろう。

その都市に気象官署がある場合はその、ない場合には最も近くにある気象官署についての、最近50年間の雨量データを使用し、対数正規確率紙を用いて、各 P_{24} 値の再現期間を求めた。ただし、ここで対象とした気象官署のデータが流域全体を代表しているわけではないので、各流域内およびその周辺地域における豪雨頻度や年降水量の分布を考慮して概略の修正を行い、ラウンドナンバー

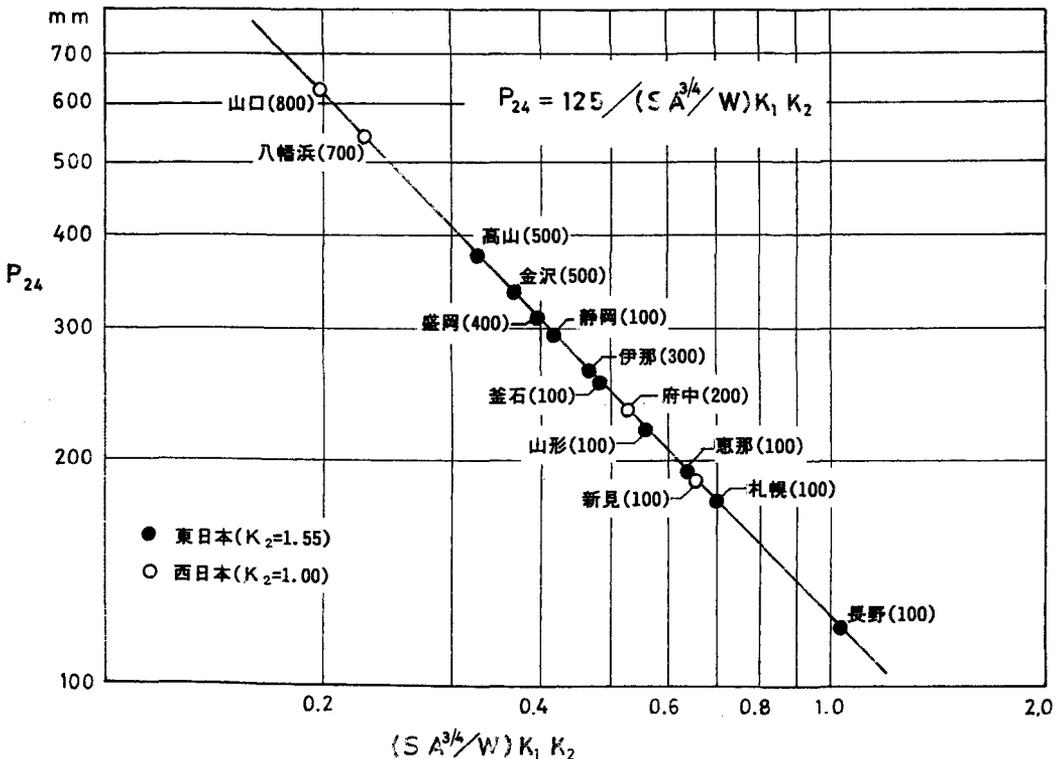


図6 山地谷底および扇状地都市の洪水災害危険度
 $K_1=1.0$ 括弧内の数字は再現期間(年)

で表している。限界24時間雨量の再現期間が100年の都市は、長野、札幌、新見、恵那、山形、釜石、静岡である。

ここでは、防災施設の効果を評価に組み入っていない。たとえば、洪水調節ダムは流域面積を小さくするような効果をもつので、これが建造されているところでは、危険度がより小さくなる。また、地域係数 (K_2) に与えた1.55という値は、現在ではもっと小さい可能性があるので、東日本の都市についての、危険度はここで示したよりもさらに小さくなる可能性がある。

図1に示した諫早の洪水危険指標値はかなり小さいので(図3)、1957年の大災害は降雨強度が非常に大きかったことによるところが大きいと判断される。このときの最大24時間雨量720mmは、再現期間が約500年の規模のもの、また、諫早の限界24時間雨量540mmは再現期間が約200年である(長崎と雲仙岳のデータに基づく)。先に記したように、諫早ではこの災害の258年前(1699年)に死者500人という水害が生じている。

6 人的被害規模規定要因

これまでは、洪水流力と直接的な関係がある家屋被害の規模で表した危険度について検討したが、つぎに、最も重要な被害値である人的被害について、その規模を規定する要因を、表1のデータに

基づいて調べてみる。

先に示したように、人的被害の規模に関係する一般的要因には、情報伝達、避難行動等に影響を与える時刻(端的にいうと昼と夜)、の要因があげられる。説明変数には、この時刻要因および洪水流力、時代、地域の要因とを使用して、人的被害規模がどの程度説明できるかを、数量化Ⅱ類の方法により検討する。

暗い夜間は明るい昼間に比べ、危険の探知、情報の伝達、避難の実行等にとって不利であることは明らかである。しかし、まだ大部分の人が起きている夜10時ぐらいまでの時間帯では、このような災害対応行動はさほど阻害はされないであろう。そこで、時刻を朝～昼、夕(22時以前)、夜の3グループに分類する。また、時代は、1959年以前、1960～1974、1975年以降の3グループに区分する。地域については西日本と東日本に2区分する。洪水流力は連続変数である。

目的変数である人的被害規模は、死者数が2桁以上(被害大)、1桁(被害小)、死者なし(被害なし)、の3グループに分類する。被害大のグループの大部分は死者数が3桁と非常に大きく、被害小のグループとははっきりと区別される。

図7は3グループの判別グラフ(各サンプルの得点の累積度数)である。相関比は0.904であり、判別結果は非常に良好である。各要因が目的変数に及ぼす影響の度合は、偏相関係数の大きさに

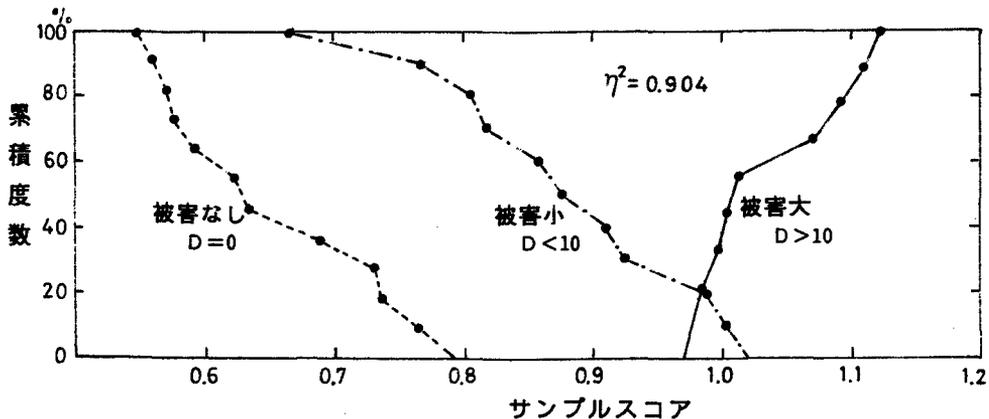


図7 人的被害規模でみた3グループの判別グラフ
D: 死者数

表2 アイテム・カテゴリーのスコア

アイテム	カテゴリー	カテゴリー数量	レンジ
時代	1. ~1959	0.1459	0.1763
	2. 1960~1974	-0.0304	
	3. 1975~	0	
地域	1. 東日本	0.9981	0.9981
	2. 西日本	0	
時刻	1. 夜	0.1522	0.1522
	2. 夕	0.1056	
	3. 朝・昼	0	

よって表される。偏相関係数は、時代 0.633, 洪水流力 0.620, 時刻 0.509, 地域 0.394で、影響の度合はこの順番で小さくなっていく。

表2には、カテゴリカルアイテムに与えられた重みづけ係数(カテゴリー数量)とそのレンジを示した。先にも述べたように、1960年ごろを境にして人的被害の程度は大きく低下した。しかし、1975年以降の期間についての重みづけ係数は、1960-1974についてのそれよりもやや大きい、すなわち、人的被害の程度は、その絶対水準は低いものの、近年逆にやや増加している、すくなくとも低下はしていないということが示されている。地域については、家屋被害の場合と同じように、東日本には西日本よりも大きな係数が与えられる。また、22時以前の夕の時間帯に与えられた係数は、22時以降についてのそれよりもかなり小さい、すなわち、夕の時間帯では、暗くなってはいいても災害対応行動がさほど阻害されてはいない。

1960年代以降、河川洪水による死者数は非常に少なくなっている。しかし、山地内谷底低地では、豪雨が降れば破壊力の大きい洪水が発生することには変わりはない。しかもこのような場所では、高

い堤防を築く余地のないことは多く、河川施設だけによってその洪水を制御することは難しい。山地谷底内の都市では、避難対応や緊急活動などを阻害する悪条件が重なると、大量の人的被害をもたらす洪水災害が生ずる可能性の大きいことを忘れてはならない。

文献一覧

金原寿郎(編)

1963 「基礎物理学」裳華房

河田恵昭・中川 一

1984 「三隅川の洪水災害-洪水氾濫と家屋の被害-」『京都大学防災研究所年報』第27号B-2, pp.179-196.

水谷武司

1980 「自然災害における外力と被害との関係およびその関係を変化させる要因について」『総合都市研究』第11号, pp.9-18

水谷武司

1985 『水害対策100のポイント』鹿島出版会

水谷武司 「土壌素因による都市の災害危険指標と危険評価点」『総合都市研究』第28号 pp.127-140.

水谷武司

1986 「山地洪水災害の地形的危険指標と限界雨量」『地形』第7巻4号, pp.275-280.

高橋 保

1985 「洪水氾濫による家屋流失の危険度評価」『京都大学防災研究所年報』第28号B-2, pp.455-470.

全国防災協会

1965 『わが国の災害誌』

Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P.

1964 Fluvial Processes in Geomorphology: Freeman

Key Words (キー・ワード)

Flood (洪水), Risk Index (危険指標), Vulnerability Assessment (危険度評価), Threshold Rainfall Intensity (限界降雨強度) Valley Plain (谷底平野), Hydraulic Force (流体力)

FLOOD RISK ASSESSMENT FOR THE CITIES ON VALLEY PLAINS IN MOUNTAINOUS AREAS

Takeshi Mizutani*

*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Comprehensive Urban Studies, No. 41, 1991, pp 103-116

Torrential floods which occur on steep narrow valley plains in mountainous areas just after the peak of a rainfall are the most destructive, because the velocity and the depth of the flow is large and the flow carries down a great amount of debris and wood produced by landslides due to the rainfall. Since this type of flood, which is named a torrential flood in this paper, has caused a large quantity of damage, especially casualties, it is necessary to conduct a vulnerability assessment.

Supposing that the hydraulic force (F) of the flood flow is represented by the momentum of the flooding water which passes a given point in unit time and unit width, and using Manning's formula, it can be derived that F is represented by a power function of the water discharge per unit width and the surface slope (S) of the valley plain. The discharge of the flood flow which runs down the entire cross section of the valley plain can be approximated by a function of $PA^{3/4}/W$, where A (km^2) is the drainage area, W (km) is the average width of the valley plain and P (mm) is the average rainfall intensity in the drainage area. The scale of a flood damage is affected by social and human related factors in addition to the hydraulic force.

Recent 30 instances of floods on valley plains show that torrential floods which destructed or swept more than 50 houses have occurred under the condition of

$$(SP_{12}A^{3/4}/W)K_1K_2 > 110$$

where P_{12} is the maximum 12-hour rainfall (mm). The coefficient K_1 is 1.55 for flood instances occurred in Eastern Japan, east of the Kinki District, and 1.0 for those in Western Japan. In the western part of Japan which is visited by a heavy rain frequently, the resistivity to flood hazards in respect of social and natural conditions is higher than in the eastern part of Japan. The coefficient K_2 is 1.45 for flood instances which occurred during 1946-1959, and 1.0 for those after 1960. In the period of about 15 years after the Second World War, the country was susceptible to flood hazards, resulting in frequent occurrence of big flood disasters. The coefficients were obtained by discriminant analysis using quantification method II.

The value of the left side of the inequality $(SP_{12}A^{3/4}/W)K_1K_2$ can be used as a comprehensive index for identifying the risk of torrential floods on valley plains. It contains the factors of land properties, natural force and social conditions. When the value exceeds 110, a destructive torrential flood which would destroy or sweep a lot of houses develops. From the inequality,

$$P_{12} = 110 / (SA^{3/4}/W)K_1K_2$$

is derived. This represents the threshold 12-hour rainfall intensity which induced destructive torrential floods as a function of topographic and social factors. The following relations

$$P_{24} = 125 (SA^{3/4}/W)K_1K_2$$

$$P_3 = 50 / (SA^{3/4}/W)K_1K_2$$

are also derived, where P_{24} is threshold 24-hour rainfall intensity and P_3 is threshold 3-hour rainfall intensity which would induce destructive torrential floods on valley plains. The applicability of the relations is confirmed by the 30 instances of flood disasters.

The threshold 24-hour rainfall intensity and the recurrence interval of the rainfall intensity are obtained for the cities on valley plains which have not suffered from torrential floods recently. By discriminant analysis, it is derived that the factors affecting the scale of casualties due to the floods are period, hydraulic force, time and region in an decreasing order of the degree of influence.