

豪雨が社会基盤施設に与える被害

南 正 昭*・永 井 良 和**・塩 月 善 晴*

Damage of Public Facilities caused by Heavy Rainfall

Masaaki MINAMI, Yoshikazu NAGAI and Yoshiharu SHIOTSUKI

Abstract

Public facilities frequently suffer damages from a heavy rainfall. It is very difficult for us to prevent the heavy rainfall damages, because their causes depend on many factors, such as the ways of land use in the region and the rainfall types and amounts. This paper aims to clarify the relation between the rainfall amounts and the public facility damages in the case of Baiu heavy rainfall in 1972.

The general relation between total rainfall amounts and damages are discussed first. The relation between the maximum 3 hour and 1 hour rainfall amounts and damages are discussed taking account of the heavy rainfall classification proposed by Ochi (1973). The different damage types of local cities are found by principal component analysis.

う側面から考察する。

1. はじめに

豪雨に対し強い地域づくりをするには、降雨や地形等の自然特性と、河川や道路等の土木施設を含めた土地利用状況を理解する必要がある。例えば水害において、河川や下水道といった治水施設の整備によって洪水などによる浸水面積が減少しても、一方で河川氾濫区域内の人口や資産が増大した場合、水害被害額はかえって増加することもある。現在、日本の国土の10%の河川氾濫区域内には約50%の人口と約75%の資産が集中している。したがって、道路や河川などの土木施設をはじめ、住宅や公共施設の立地等においても、地域の特性に沿って建設、整備されることが望ましい。

本研究では、昭和47年7月の豪雨における中国地方の降雨と被害のデータをもとに、豪雨が発生した際に社会基盤施設に生じる被害について分析する。そして豪雨災害への対策を、社会基盤施設の整備・計画とい

2. 昭和47年7月豪雨災害の特徴

昭和47年7月3日から11日間にわたり、発達した梅雨全線は日本の各地を集中豪雨で襲った。被災地域は全国32府県にまたがり、その被害は死者・行方不明者441人、建物全半壊6855戸、山崩れ・崖崩れ11,574ヶ所に達している。

47年7月豪雨（以下「47・7豪雨」と記す）は気圧配置と降雨区域などから

(1) 7月3～6日の日本海に進んだ低気圧への収束気流による九州、四国南部の大雨（47・7前期豪雨）

(2) 7月7～9日の前線南下による北海道、東北北部の大雨（47・7中期豪雨）

(3) 7月9～13日の停滞した梅雨前線上を東進した小低気圧による九州北部、中国、四国、近畿、中部、関東南部の大雨（47・7後期豪雨）に分けられる。

47・7豪雨の最も大きな特徴は、このように長期間降雨が持続したために総雨量が多かったことに加え、特

*社会建設工学科

**愛媛県庁

に短時間の雨量（1～3時間雨量）が多かったことにある。このため大規模な山崩れが発生し、多くの人命が失われた。

中国地方でも、短時間雨量、総雨量ともに非常に多かった。そのため過去最高の流量を記録した江の川をはじめ、斐伊川、高津川、太田川流域などで河川水害が多く発生した。この豪雨により、中国地方の総被害額は約2,200億円に達し、当地方においては空前の大災害となった。

3. 降雨と被害の関係

3.1 総雨量と被害の関係

豪雨災害の発生には、降雨強度の時間経過など雨の降り方や豪雨のあった地域の地形・地質・地盤等数多くの要因が複雑に影響している。したがって、どの程度の降雨によりどの程度の被害が生じるかという雨量と被害規模との数量的関係は明確ではない。しかし、一般に雨量が多いほど生じる被害は大きく、降雨の総量は水害を引き起こす外力の規模を表す主要な指標であると考えられる。そこで、災害を引き起こす雨の要素としてまず総雨量に着目し、47・7豪雨により中国地方の河川流域で生じた被害との関係を分析する。ここで分析の対象とした地域と被害項目を、Table 1とTable 2に示す。対象地域は中国地方の吉井川、旭川、高梁川、芦田川、太田川、高津川、江の川、斐伊川、日野川の9流域、172市町村である。被害項目は、死者数、家屋被害戸数、農林被害額、商工水産被害額、衛生被害額、文教被害額、土木被害額の7項目とした。死者数、家屋被害戸数は社会基盤施設とはいえないが、被害の程度を表す重要な要素として取り上げた。

また、7月9日から13日にかけての中国地方の総雨

量分布と分析対象流域をFig. 1に示す。総雨量は特に山陰地方で大きく600mmをこえる地域もあることがわかる。

Table 2に示す被害項目について総雨量との関係を分析した。その一部を図示し、考察を加える。なおこの分析は昭和47年当時の土地利用状況のもとでの分析であり、現在も同じような雨に対して同一の結果が得られるというものではない。

一般に、人的被害については土砂災害発生の有無、警報・避難の適否などによって大きな影響を受けるので、雨量との相関は認め難い。しかし、中国地方の河川流域全体でみるとFig. 2のように、総雨量と死者数との相関はかなり明確である。太田川流域を除いた8流域では総雨量が500mmをこえた場合、死者の発生している市町村が少なくとも1つ以上あることがわかった。山陰側は山陽側に比べ、総雨量が500mmをこえるような大雨にみまわれた地域が多かった。江の川と斐伊川流域において総雨量が500mmをこえてから発生する死者の数が著しく増加した。一方、山陽側の芦田川や高梁川では、総雨量が比較的小さくても死者が発生

Table 2 Category of damages

Category		Contents
Person	X(0)	dead person
House	X(1)	destroyed house
Agriculture	X(2)	agriculture, forestry
Commerce	X(3)	commerce, industry, fisheries
Sanitation	X(4)	waterworks, clinic etc
School	X(5)	public school, private school
Civil eng.	X(6)	river, road, bridge etc

Table 1 Regions which were chosen in this study

Basin name	Cities in the basin	
Yoshiigawa	Tuyama, Bizen	etc.
Asahigawa	Okayama	etc.
Takahashigawa	Niimi, Takahashi	etc.
Ashidagawa	Fukuyama, Futyu	etc.
Ōtagawa	Hirosima	etc.
Takatugawa	Masuda	etc.
Gōnokawa	Goutu, Miyosi	etc.
Hiigawa	Matue, Izumo	etc.
Hinokawa	Yonago	etc.

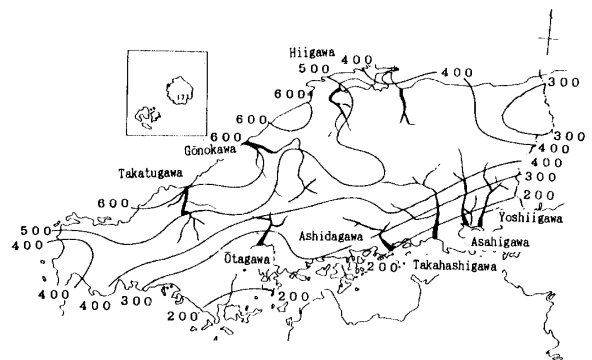


Fig. 1 Total rainfall amounts (mm) and the location of basin which were chosen in this study

している。

家屋被害戸数については、Fig. 3に示すように、斐伊川流域の松江市における被害が突出して大きい他は、総雨量との相関は小さく2,000戸前後の被害が多数発生している。このことから家屋被害は、総雨量が多いことより立地している土地側の影響が大きいものと推察される。災害発生の際である土地の自然的条件や人為的な土地利用によって被害の規模が左右されることが示唆される。

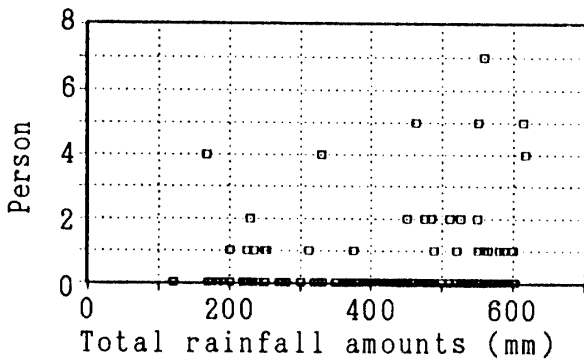


Fig. 2 Relation between the total rainfall amounts and the dead persons

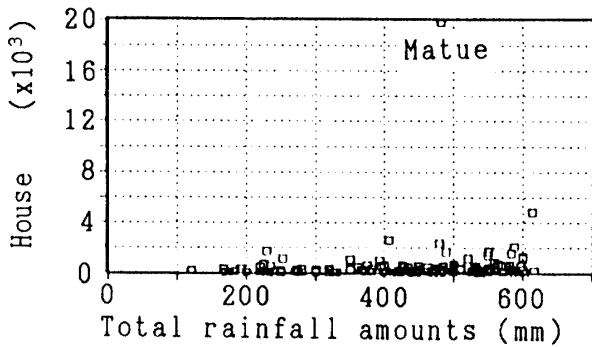


Fig. 3 Relation between the total rainfall amounts and the damages(House)

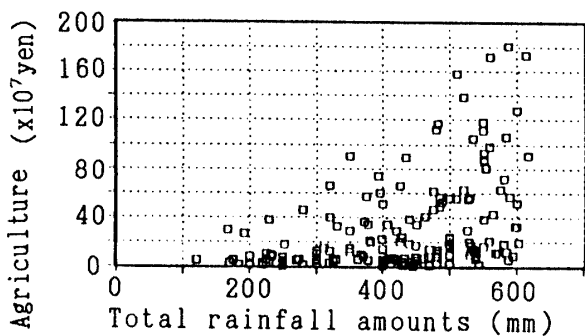


Fig. 4 Relation between the total rainfall amounts and the damages(Agriculture)

農林被害額は、Fig. 4に示されるように総雨量との間にかなり明確な相関がみられる。総雨量の多かった山陰側の斐伊川流域、高津川流域、江の川流域では、雨量が500mmをこえてさらに被害額が大きくなっている。

商工水産被害額は、江の川および斐伊川流域の一部の地域で特に大きく、総雨量との相関もみられる。Fig. 5に総雨量と商工水産被害額の関係を示す。

衛生施設は、Fig. 6に示されるように江の川流域の三次市や斐伊川流域の松江市における被害が突出している。これら都市部では河川の氾濫による水害の影響を特に被り易いようである。

文教被害に関しては、大きな被害のほとんどが江の川流域に集中している。総雨量と被害額の関係はあまり明確ではない。Fig. 7に総雨量と文教被害額の関係を示す。

土木被害額は、太田川および江の川流域で大きく、特に太田川流域の広島市では総雨量が比較的小規模にもかかわらず大きな被害が生じた。また全体として総雨量が300mmをこえてから被害額が急に大きくなり、より雨量が多くなってもそれにつれて被害額がさらに

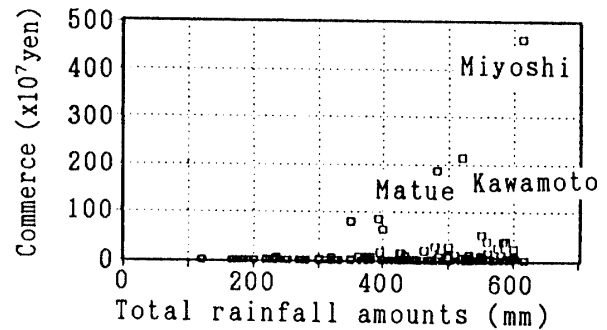


Fig. 5 Relation between the total rainfall amounts and the damages(Commerce)

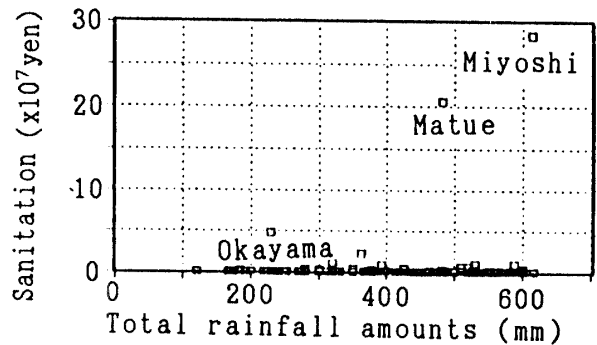


Fig. 6 Relation between the total rainfall amounts and the damages(Sanitation)

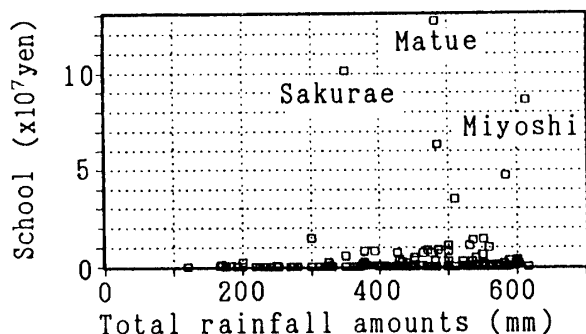


Fig. 7 Relation between the total rainfall amounts and the damages(School)

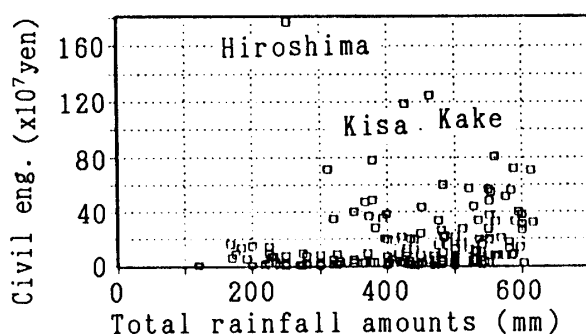


Fig. 8 Relation between the total rainfall amounts and the damages(Civil eng.)

大きくなる地域は少ないことがわかる。Fig. 8に総雨量と土木被害額の関係を示す。

次に、河川流域別に総雨量と被害の関係を分析し、総雨量からみた各流域の被害特性を考察する。

吉井川流域は、農林および土木被害が大きく総雨量との相関も認められる。総雨量が400mm以上になると農林・土木被害が特に大きくなることがわかる。

旭川流域は、比較的小規模な降雨でも死者が発生するなど総雨量と被害の相関があまり認められない。

高梁川流域は、総雨量が100~600mmと様々な規模の降雨があった。農林・商工水産・土木に関して、総雨量が400mmにおいて被害のピークをむかえる。

芦田川流域は、農林・土木に関して総雨量が300mmをこえると被害額が増大する。よってこの流域にさらに多くの降雨があると農林・土木等の被害がさらに大きくなるものと考えられる。

太田川流域は、土木の被害が特に大きい。

高津川流域は、農林被害が特に大きい。またこの地域は、総雨量が400mm以上の大雨にみまわれ、総雨量

Table 3 Classification of heavy rainfall proposed by Ochi

class	max 3 hour rainfall amount	max 1 hour rainfall amount
A	250mm<	110mm<
B	200mm<	90mm<
C	150mm<	70mm<
D	100mm<	50mm<
E	70mm<	30mm<
F	50mm<	20mm<

Both conditions are satisfied

と被害の相関が特に農林と土木被害において明確であることがわかった。

江の川流域は、47・7豪雨においてもっとも大規模な被害を受けた流域である。被害特性としては、商工水産と文教被害がこの流域にのみ集中していること、総雨量が500mm以上になると農林、文教および土木被害額が大きくなることが挙げられる。山陰側の河川流域は、年降水量が多く豪雨の頻度も大きいため、水害が発生する限界の雨量が比較的大きいものと考えられる。

斐伊川流域は、農林被害が大きく、家屋・商工水産・衛生・文教被害において松江市の被害が突出している。

日野川流域は、農林および土木被害がやや大きいほかは特に大きい被害が発生していない。

3.2 短時間雨量と被害の関係

47・7豪雨前期では死者のほとんどが山崩れによるものだった。また梅雨前線のはっきりしてきた豪雨後期においても前線付近やその南側のところでは山崩れが多発して大きな災害を引き起こした。これは、47・7豪雨の場合、総雨量も多かったが特に短時間雨量(1~3時間雨量)が多かったという降雨特性によるものである。越智(1973)は大規模な崩壊現象の発生には総雨量が多いことはもちろん必要な条件であるが、同時に短時間雨量強度が大きいことがより重要な条件であると考え、山(がけ)崩れを対象にした集中豪雨の強さをTable 3のようなAからFの6階級に分類した。

以下ではこの越智の集中豪雨の分類に従い、短時間雨量と社会基盤施設に生じた被害の関係について分析した結果を示す。なおFig. 9は最大1時間雨量(max R 1)と最大3時間雨量(max R 3)の関係を雨量データを得られる49市町村についてプロットし、越智の豪雨階級を記入したものである。ここではF階級以下の

段階を便宜上、G階級とよぶ。

豪雨階級と被害規模の関係をみるために、家屋被害戸数、農林被害額などの被害高を各階級ごとに平均した結果を Table 4 に示してある。なお死者数は階級ごとに合計した値である。

衛生を除く他のすべての被害が、豪雨階級がG、F、Eと高くなるにつれて規模が大きくなっている。さらに詳しくみると、家屋被害戸数および農林・土木被害額は、豪雨階級が高くなるのに比例してその規模が大きくなっている。一方、商工水産・衛生・文教の各被害は、FからEへ移行する段階で被害額の増加が著しいことがわかる。これは、E階級にある三次市のそれらの被害額が極めて大きいことによる。

以上のことから、短時間雨量が多くなればそれにつれて社会基盤施設への被害規模も大きくなることが確認される。また、越智の集中豪雨の強さの分類は、土木や農林などの社会基盤施設に対する被害においても有効であることがわかった。

次に、斜面崩壊の発生には総雨量に加えて、短時間雨量強度が強く関係することを明らかにするために、先の49市町村の総雨量と最大1時間雨量の関係を Fig.10のようにプロットし、この図から総雨量が少なく最大1時間雨量の多い市町村(A)と、逆に総雨量が

多くて最大1時間雨量の少ない市町村(B)をそれぞれ4つずつ選んだ。これらの河川および砂防の被害状況を比較した結果を Table 5 に示す。サンプル数は少ないが、これより斜面崩壊の発生には短時間雨量の大きが大きく関与していることがうかがえる。

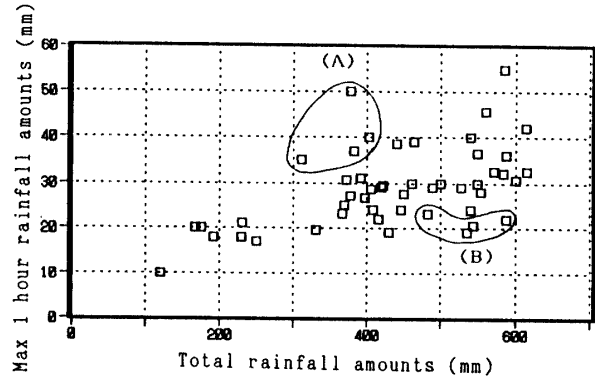


Fig.10 Relation between the total rainfall amounts and the maximum 1 hour rainfall amounts

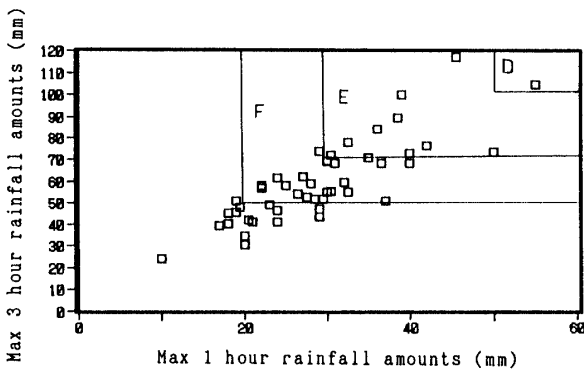


Fig. 9 Relation between the maximum 1 hour rainfall amounts and the maximum 3 hour rainfall amounts

Table 5 Damage of Civil eng. in A and B (x10⁴yen)

	City name	River	Erosion control
A	Togouchi	39,400	10,100
	Yuki	1,624	242
	Shiraki	23,669	321
	Kouzan	62,702	1,854
B	Nita	11,418	734
	Yoshida	4,366	0
	Okutu	1,340	0
	Shouou	1,100	0

Table 4 Extent of damage in each heavy rainfall class

Class	Damage	Person Sum.	House Ave.	Agricultur (x10 ⁸ yen) Ave.	Commerce (x10 ⁸ yen) Ave.	Sanitation (x10 ⁷ yen) Ave.	School (x10 ⁷ yen) Ave.	Civil eng. (x10 ⁸ yen) Ave.
G		7	302	18,362	1,638	318	135	8,994
F		8	494	39,081	7,918	70	349	25,137
E		11	834	68,538	54,567	2,999	1,063	51,475

4. 被害にみられる地域特性

これまでは、雨量と被害の関係について分析を試みた。次に地域ごとに生じた被害の特性を知り、その特性に寄与する因子をさぐるため主成分分析を行う。

本研究では Table 1 に示した 9 流域, 172 市町村のうち特異な 2 つのデータを省いた 170 市町村について、家屋・農林・商工水産・衛生・文教・土木の 6 変数の被害データをもとに主成分分析を行う。分析の結果求められた主成分得点の散布図から、各河川流域の被害の特徴を把握するとともに、流域の被害特性を表現し、その類型化に寄与している主成分を明らかにする。

Table 6 から固有ベクトルの各要素である係数の絶対値が大きいものに注目して、各主成分の解釈を行うと次のようになる。

- (1) 第 1 主成分は、総合的な被害規模を表す。
- (2) 第 2 主成分は、衛生被害と文教・土木被害を分ける。
- (3) 第 3 主成分は、文教被害と土木・農林被害を分ける。
- (4) 第 4 主成分は、商工水産被害と文教被害を分ける。
- (5) 第 5 主成分は、土木・衛生被害と農林・家屋被害を分ける。

また、第 1 主成分得点と第 2 主成分得点の散布図を Fig.11 に示す。流域の被害特性が明確に現れていることがわかる。すなわち総合的な被害規模は江の川流域で大きく、被害形態は文教・土木被害が大きい。また、斐伊川・高梁川および高津川・太田川流域のそれぞれの被害規模および被害形態が類似していることが分かる。また、第 2 主成分の正の方向に分布している旭川

流域では、衛生施設の被害規模が大きかった。

また、第 1 主成分から第 5 主成分までのそれぞれの主成分得点によって、各河川流域の被害特性を理解すると次のようになる。

旭川流域は、衛生の被害が比較的大きい。

高梁川流域は、商工水産の被害が比較的大きい。

太田川流域は、土木の被害が比較的大きい。

高津川流域は、土木、農林の被害が比較的大きい。

江の川流域は、総合的な被害規模も大きいですが、特に文教の被害が比較的大きい。

斐伊川流域は、農林、家屋の被害が比較的大きい。

吉井川、芦田川および日野川流域は、いずれの主成分得点の散布図においても特徴的な分布を示すものがない。つまりこの流域では特に他と比較して特徴ある大きな被害が発生していない。

ここで、流域の被害特性を明確に表し、かつ流域の類型化に寄与する主成分として第 5 主成分に注目する。

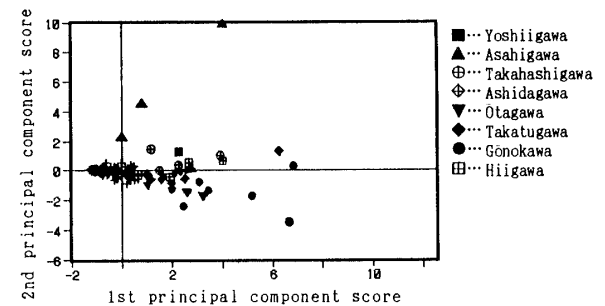


Fig.11 Scatter diagram of principal component analysis (Relation between the scores of 1st principal component and 2nd principal component)

Table 6 Eigenvalue and eigenvector

	Principal component					
	1	2	3	4	5	6
House X(1)	0.51078	0.23106	-0.16687	-0.05993	-0.35921	0.72474
Agriculture X(2)	0.49083	-0.10520	-0.31047	-0.26717	-0.43813	-0.62313
Commerce X(3)	0.42750	-0.07112	0.30414	0.83509	-0.01777	-0.14834
Sanitation X(4)	0.24326	0.83410	0.20881	-0.16284	0.34981	-0.22938
School X(5)	0.30626	-0.37299	0.74682	-0.44599	0.07107	0.07336
Civil eng. X(6)	0.40306	-0.30927	-0.42652	-0.04725	0.74248	0.08042
Eigen value	2.48037	1.01136	0.88355	0.64754	0.60904	0.36815
Proportion	0.41339	0.16856	0.14726	0.10792	0.10151	0.06136
Com. proportion	0.41339	0.58195	0.72921	0.83714	0.93864	1.00000

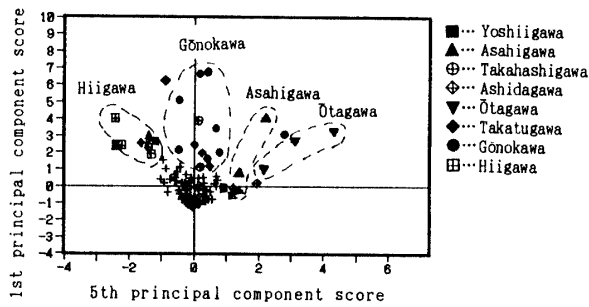


Fig.12 Scatter diagram of principal component analysis (Relation between the scores of 1st principal component and 5th principal component)

この主成分の寄与率は10.2%であり、もとのデータの約10%を説明することができる。この主成分の係数をみると、土木・衛生で正の値、農林・家屋で負の値となっている。すなわち第5主成分得点は河川、道路、上水道などの公共土木施設の被害が大きい市町村で大きくなり、農地や家屋の被害が大きい市町村で小さくなる。したがってこの主成分は、開発によって都市化が進んでいる都市部と農山村部を分ける因子と解釈できる。この第5主成分得点と第1主成分得点の関係をFig.12に示す。これをみると第5主成分得点のプラス側からマイナス側へ、太田川、旭川、江の川、斐伊川の順に明確に分類される。これは、太田川や旭川が広島市や岡山市を流れることから、流域の都市化傾向に一致する。このように地域による被害特性の類型化には、流域やその開発状況が影響することが確認された。

5. おわりに

本研究では、総雨量と短時間雨量および被災地域の被害特性の3点に注目し、47・7豪雨を例に豪雨が社会基盤施設に与える被害の分析を行った。その結果以下

のような研究成果が得られた。

総雨量と被害の関係の分析から、総雨量との明らかな相関が認められたものとして、死者数、農林被害額および都市部における衛生被害額が挙げられた。

越智の豪雨階級をもとに、短時間雨量と被害の関係を分析した結果、短時間雨量が多くなれば社会基盤施設に与える被害規模も大きくなることが確認された。したがって越智の集中豪雨の分類は、社会基盤施設に与える被害を対象にしても有効であることがわかった。さらに短時間雨量が少なく総雨量が多いと、河川被害額が大きくなり、逆に総雨量は比較的少ないが短時間雨量が多いと、砂防被害額が大きくなる傾向が確かめられた。

主成分分析の適用により流域の被害特性を表現し、かつ流域の類型化に寄与する主成分として、47・7豪雨の分析においては、河川流域の開発にともなう土地の高度利用や都市化傾向を示す第5主成分が有効であることがわかった。

本研究では、主に雨量とそれによる被害の相関関係のみをみてきた。今後は他の豪雨についても分析例を増やし豪雨災害に強い地域づくりのための基礎的な知見としたい。

参考文献

- 1) 塩月善晴・大原資生・山本哲郎：土砂災害を起す豪雨の予報について、土木学会論文集、1986
- 2) 越智彊：昭和47年7月豪雨の特徴と過去の集中豪雨との比較について、気象研究ノート、117号、153-162、1973
- 3) 中国地方建設局：昭和47年7月豪雨災害誌、1974
- 4) 高橋博・木下武雄・植原茂次：豪雨・洪水防災、白亜書房、1987
- 5) 高橋博・大八木規夫：斜面災害の予知と防災、白亜書房、1986

(平成4年4月22日受理)