

## 山口県における豪雨災害年の評価と予測

張 継 権\*・早 川 誠 而\*\*・山 本 晴 彦\*\*・鈴 木 賢 士\*\*

## 要 旨

本研究は山口県を対象地域とし、1965年から1994年までの豪雨による被害資料をもとに数理統計手法を用いて豪雨による被害程度を定量的に評価できる被害指数を提案し、この指数を指標値としてファジィクラスタ分析法により各年の被害程度を極重度、重度、中度、軽度と微度の5つのタイプに区分した。また、灰色災害変化予測モデルをもとに重度以上に属する豪雨災害発生年を予測することを試みた結果、求められた予測モデルは高い精度予測が可能であった。

## 1. はじめに

豪雨災害は最も頻繁に起こる突発的気象災害の1つであり、人間の生存ならびに社会発展に甚大な影響を与える。毎年のように日本の各地で豪雨災害が発生し、大きな被害がもたらされており、豪雨災害防止の難しさを浮き彫りにしている(早川, 1996)。したがって、豪雨に対する被害を軽減するためには、災害をもたらす地域の豪雨特性及びそれらによる被害状況の変化を調べて、豪雨による被害が毎年どの程度存在するか、さらに、将来いつ発生する可能性があるかをあらかじめ把握しておく必要がある。

豪雨災害の誘因となる豪雨などに関する研究は、気象観測技術の進歩に伴い非常に活発に行われている。特に、レーダを用いて豪雨を迅速に検出することがある程度可能になり、豪雨災害を軽減することに役立てられる(Hayakawa *et al.*, 1997; 小葉竹, 1992; 山口ほか, 1993)。豪雨災害の防災対策としては、短期予測と同様に長期予測も重要である。しかし、長期予測モデルが十分でないなどの原因もあり、これまでのところ豪雨災害の長期予測はあまり行われていない。豪雨災害の長期予測を向上させるためには、長期予測

法の精度を高める必要がある。そこで、本研究は山口県を対象地域とし、1965年から1994年までの豪雨による被害資料をもとに数理統計手法を用いて豪雨による被害程度を定量的に評価できる被害指数を提案し、この指数を指標値としてファジィクラスタ分析法により各年の被害程度の評価と区分を行った。さらに、豪雨災害年の評価結果をもとに被害程度が重度程度以上に属する豪雨災害年を時系列として、灰色災害変化予測モデルを用いてその時系列の灰色予測モデルを作り、豪雨災害発生年の予測を試みた。

## 2. 使用データと解析方法

## 2.1 使用データ

解析には、1965年から1994年までの「山口県の災害」(山口県消防防災課)、ならびにそれに対応したアメダス観測点における日降水量、月降水量データ(「山口県気象月報」日本気象協会下関支部発行)を使用した(ただし、アメダスデータのない1974年以前はアメダスと同じ観測点からの報告を使用した)。

## 2.2 解析方法

## 2.2.1 被害指数の計算法

豪雨による被害状況を定量的に評価するために、被害指数を用いた。被害指数は災害によってもたらされた経済損失や物的及び人的被害等を総合的に評定するものであり、人の被害は豪雨災害による死亡者、負傷

\* 鳥取大学大学院連合農学研究所.\*\* 山口大学農学部。

—1997年9月4日受領—

—1998年7月31日受理—

者、行方不明者を、物の被害は豪雨災害による全壊、半壊、一部破損、床上浸水、床下浸水の家屋数を、経済損失は公共文教施設、農林水産施設、公共土木施設とその他公共施設の被害額及びその他の被害額を加えたものである。統計した期間は30年であり、山口市の物価指数はその間でほぼ4倍に上昇し、この間の貨幣価値もそれに対応して変化していると考えられ、「山口県の災害」にある該当年の被害額を使って単純に比較することはできないと考えられる(大原ほか, 1991)。この点を考慮して経済損失としては各年のそれぞれの部門の被害額については、1995年での物価指数を100とし、それに対する各年の物価指数の比率を乗じて得られた換算被害額を使用した。被害指数は豪雨災害による人の被害、家屋の被害及び経済損失額の三つの因子を考慮して、次式を用いて計算した(張・早川, 1998)。

$$G = Ip + Ih + Ie \quad (1)$$

ただし、 $G$  は被害指数、 $p$  は人の被害数、 $h$  は家屋の被害数、 $e$  は経済損失額(単位: 億円)、 $Ip$ ,  $Ih$ ,  $Ie$  はそれぞれの基準化指数である。 $Ip$ ,  $Ih$ ,  $Ie$  の計算は次のようにした。 $p \geq 10^2$ 人、 $h \geq 10^3$ 棟、 $e \geq 10^2$ 億円の場合は $p$ ,  $h$ ,  $e$  は以下の対数関係を用いて基準化した。

$$Ip = \log_{10} p - 1, \quad Ih = \log_{10} h - 2, \quad Ie = \log_{10} e - 1.$$

$p < 10^2$ 人、 $h < 10^3$ 棟、 $e < 10^2$ 億円の場合は $p$ ,  $h$ ,  $e$  は以下の線形関数関係を用いて基準化した。

$$Ip = p/10^2, \quad Ih = h/10^3, \quad Ie = e/10^2.$$

### 2.2.2 ファジィクラスタ分析法

豪雨災害年の被害程度を定量的に区分するために、ファジィクラスタ分析法を利用した。ファジィクラスタ分析法はファジィ理論を分類問題に応用したものである。要素間の関係の有無を考慮している従来のクラスタ分析法に対して、ファジィクラスタ分析法は要素間の関係の度合いを考えて行うもので、多くの専門書などに解説されている(例えば、市川, 1992; 顧ほか, 1993a)。 $R$  を定義域  $X$  上のファジィ関係とし、 $R$  の帰属度関数  $\mu_R$  が反射性、対称性、推移性を満たせば、閾値  $\lambda$  レベル集合 ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ) を設定すれば、同値関係を作れる。類似関係行列  $R$  の要素  $r_{i,j}$  の値が  $\lambda$  レベル以上の場合と未満の場合に分け、その要素に関する  $x_i$  と  $x_j$  の間に関係あり、あるいは関係なしとして1と0を与える。1と0の配列が同じ行と列に対応する

ファジィ集合  $X$  の要素同志が、同クラスタに属することになる。この計算を繰り返し、カットした  $\lambda$  値を小さくすると、同じクラスタに属する要素の数は増える。この分類結果あるいはクラスタの数及び属する要素は分割樹で表現でき、同じクラスタに属するものを選ぶ。

### 2.2.3 灰色災害変化予測モデル

灰色災害変化予測モデルは灰色予測モデルを災害変化予測に応用したものである。将来に出現しようとする要素値を予測する灰色予測モデルに対して、灰色災害変化予測モデルはある閾値以上の異常要素値あるいは災害が将来に出現しようとする時間を予測するものである(高, 1993)。灰色予測モデルの原理と灰色システム理論の豪雨災害への応用は、これまでの論文(例えば、顧ほか, 1993b; 張・早川, 1998)で詳細に述べられているので、ここでは要点のみを示す。

灰色予測方法は基本的に平滑で、規則変動を呈する、つまり、変動の法則性(指数関数)がはっきり呈す時系列の予測に適用するものである(袁, 1991)。一般的に生データの時系列では一定の変動傾向が見られず、ランダムな変動を呈している。このため、一般的に生データの時系列をそのまま灰色予測モデルに応用することができない。しかし、生データの時系列に対して何回かの累加をとると、もとの不規則変動の時系列は単調増加の時系列となり、変動の法則性がはっきりと現われ、そのような時系列に対して灰色予測が可能となる。すなわち、そのままの生データを用いて予測を行うより、累加をとった新たな時系列を使用した方が精度が良くなる(顧ほか, 1993b)。そこで、本研究では生データの時系列  $X^{(0)}(t)$  に対して次式のように1回の累加をとった。

$$X^{(1)}(t) = \sum_{n=1}^t X^{(0)}(n) \quad (2)$$

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

新たな時系列  $X^{(1)}(t)$  に対しての一般的な灰色予測モデルの1階単変量微分方程式は次式のように与えられる。

$$dX^{(1)}/dt + aX^{(1)} = u \quad (3)$$

ここで、 $a$  は定数、 $u$  はシステムに対する定常な入力である。(3)式の解は(4)式で与えられる。

$$X^{(1)}(t+1) = (X^{(1)}(t) - u/a)\exp(-at) + u/a \quad (4)$$

(t=1, 2, ..., N)

最小二乗法により定数  $a$  と  $u$  は次式から求められる。

$$\begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{u} \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (5)$$

ここで、 $\hat{a}$  と  $\hat{u}$  は  $a$  と  $u$  の推定値、

$$B = \begin{pmatrix} -1/2[X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)] & 1 \\ -1/2[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2[X^{(1)}(N-1) + X^{(1)}(N)] & 1 \end{pmatrix}$$

$$Y = [X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(N)]^T$$

$T$  は転置行列である。

$a$  と  $u$  の値を (4) 式に代入すると、

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = (\hat{X}^{(1)}(t) - \hat{u}/\hat{a})\exp(-\hat{a}t) + \hat{u}/\hat{a} \quad (6)$$

(t=1, 2, ..., N)

となる。これが1階単変量常微分方程式 (2) に基づく1階1次灰色予測モデル GM (1, 1) である。(6) 式により求められる  $\hat{X}^{(1)}(t)$  は、 $t \leq N-1$  の場合は時系列  $X^{(1)}(t)$  の推定値であり、 $t > N$  の場合は時系列  $X^{(1)}(t)$  の予測値である。

(6) 式から求められた時系列  $\hat{X}^{(1)}(t)$  に関して累減をとると、次式になる。

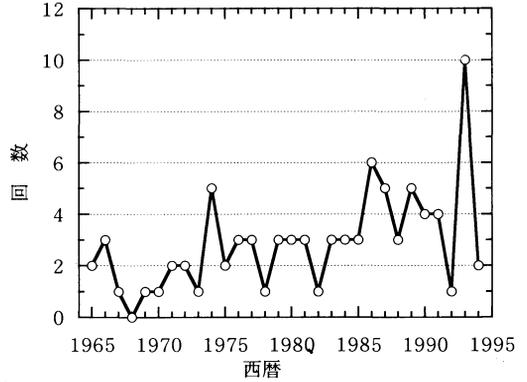
$$\hat{X}^{(0)}(t) = \hat{X}^{(1)}(t) - \hat{X}^{(1)}(t-1) \quad (7)$$

(t=2, 3, ..., N)

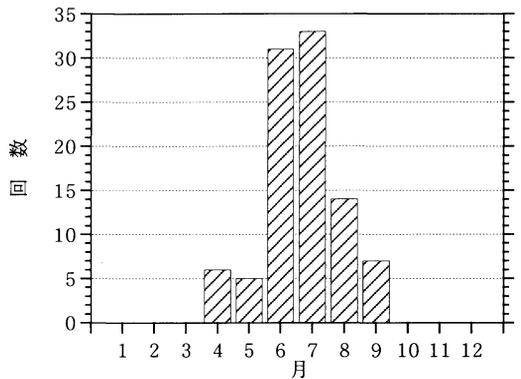
ここで、 $t \leq N$  の場合には生データの時系列  $X^{(0)}(t)$  の推定値が得られ、 $t > N$  の場合には生データの時系列  $X^{(0)}(t)$  の予測値が得られる。

以上のように、生データの時系列  $X^{(0)}(t)$  に対して1回累加をとり、得られた累加時系列  $X^{(1)}(t)$  に (3) 式の微分方程式を用いて  $t+1$  時刻におけるシステムの状態を求め、さらに (7) 式を用いて1回引き算により元の時系列に戻る。これは灰色予測の基本である(顧ほか, 1993b)。

本研究は灰色予測モデルが豪雨災害発生年の長期予



第1図 1965~1994年における年別の豪雨災害発生回数。



第2図 1965~1994年における月別の豪雨災害発生回数。

測に有効性があるかどうかについて検討し、その有効性を確かめたものである。

### 3. 豪雨災害の特性と原因

豪雨災害は誘因が素因に作用することによって生じる。誘因とは災害を引き起こす自然力のことをいい、豪雨が誘因である(張・早川, 1998)。豪雨災害発生の一応の目安としては1日あたり100 mmを越す雨が降ったとき、あるいは、年平均雨量の10%程度の降雨があった時、災害が起こりやすいと言われている(近藤, 1994)。そこで、この定義に従って豪雨災害発生の目安として100 mm以上の降雨日数が考えられ、もし、100 mm以上の降雨日数が多ければ、豪雨が降った可能性はあり、豪雨災害が発生する可能性は高くなったと考えることができる(張・早川, 1998)。山口県の降水量データと災害データをもとに山口県のアメダス観

第1表 月別原因別豪雨災害発生回数と発生頻度  
統計年間：1965～1994年.

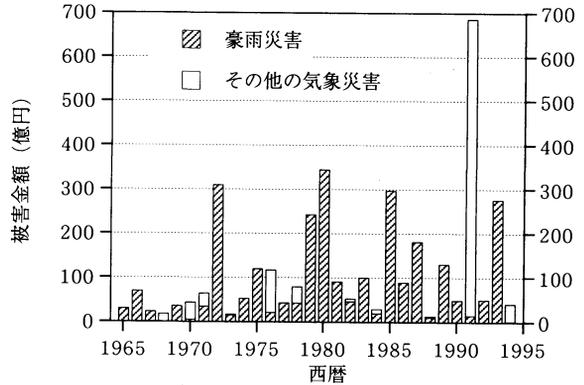
月	低気圧 ・前線	台風	太平洋高 気圧周辺	合計	発生頻度 (%)
4	6	0	0	6	6.3
5	5	0	0	5	5.2
6	27	1	2	30	31.3
7	29	1	2	32	33.3
8	10	3	2	15	15.6
9	5	2	1	8	8.3
合計	82	7	7	96	100
発生頻度 (%)	85.4	7.3	7.3	100	

測点の平均値を計算し、その結果をもとに得られた年別と月別の豪雨災害発生回数を第1図、第2図に示す。山口県では豪雨災害の回数は増加傾向にあり、主に4月から9月までに発生していることが分かった。また、誘因としての豪雨の原因を調べてみると低気圧、前線、台風、太平洋高気圧周辺などによるものである。山口県における月別の原因別豪雨災害発生回数を第1表に示す。梅雨前線に代表される低気圧や前線による豪雨災害が85.4%と最も多く、台風と太平洋高気圧周辺によるものがそれぞれ7.3%を占めている。季節別に分けると、前線と太平洋高気圧周辺に伴う豪雨災害は6～8月が主であり、低気圧の場合は4月と5月に、台風の場合は8月と9月に主として発生し、豪雨災害の誘因となった豪雨の主な原因は季節により異なる。この結果から、山口県の豪雨災害は前線あるいは低気圧によって主としてたらされ、主に6～8月に集中することが分かった。

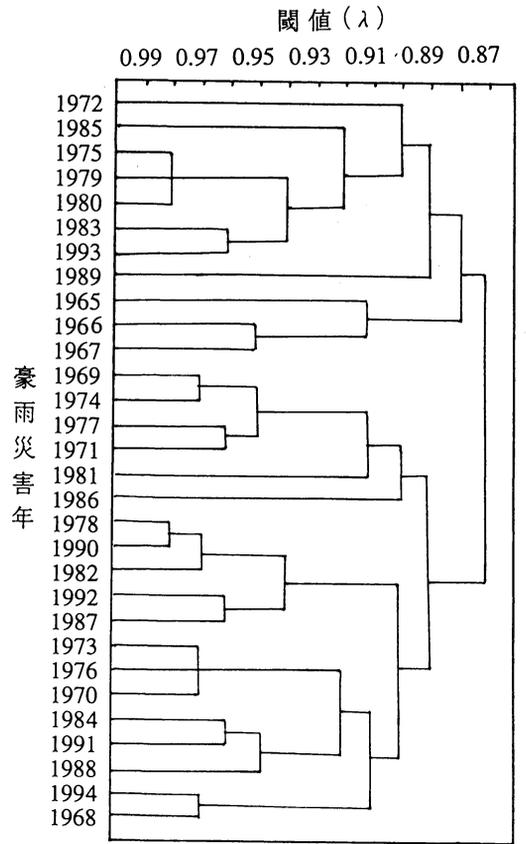
4. 豪雨災害年の評価と被害程度の区分

1965年～1994年の30年間の豪雨災害による換算被害額とその他の気象災害による換算被害額を第3図に示す。1965年～1994年の30年間に山口県では豪雨災害が1968年を除いて毎年発生し、年ごとに被害額にはかなりの違いが存在する。また、豪雨災害の被害額が全気象災害の被害額に占める割合は台風の直撃を受けた1968年、1991年と1994年を除いてほとんど50%以上である。このことは豪雨災害が山口県の社会経済システムの損失ならびに社会発展に甚大な影響を与える主な気象災害の1つであることを意味する。

各年の豪雨による被害程度を定量的に評価・区分するために、(1)式により計算した被害指数を指標値としてファジィクラスタ分析法により関係行列と〔0、



第3図 1965～1994年における豪雨災害とその他の気象災害による被害額の経年変化。



第4図 1965～1994年における豪雨災害程度の分割樹。

1) 変換式によりファジィ関係行列を計算した。これをもとに3回の合成を行い、類似関係行列を作った。次に、λレベルの値を0.99から0.87まで0.01ごとに設

第2表 ファジイクラスタ分析法による豪雨災害程度  
の分類. 統計年間: 1965~1994年.

災害程度	被害指数 (G)	年
極重度災害年	≥10	1972, 1985, 1975, 1979, 1980, 1983, 1993
重度災害年	7~10	1989
中度災害年	4~7	1965, 1966, 1967
軽度災害年	1~4	1969, 1974, 1977, 1971, 1981, 1986
微度災害年	≤1	1978, 1990, 1982, 1992, 1987, 1973, 1976, 1970, 1984, 1991, 1988, 1994, 1968

定し、区分した結果を第4図に分割樹として示す。

$\lambda = 0.89$  のとき、1965年~1994年の30年間の豪雨災害の程度は5つのタイプに区分が可能である。被害指数の大きい順に極重度災害年、重度災害年、中度災害年、軽度災害年、微度災害年と分類した結果を第2表に示す。1965年~1994年の30年間に発生した豪雨災害の中で極重度災害年は7年、重度災害年は1年、中度災害年は3年、軽度災害年は6年、微度災害年は13年であり、それぞれ23%、3%、10%、20%と44%を占めている。また、第2表から被害が中度程度以上に属する豪雨災害年には、古い年代が多く、軽度災害年と微度災害年には、新しい年代が多いことが分かった。被害金額にははっきりとした減少傾向は見られず、この被害程度の減少については、特に被害人数と被害家屋の減少に顕著に見られ、これは堤防の建設、建築物の強度の向上、及び気象予報の充実と情報伝達網の整備などの防災対策が効を奏した結果と考えられる(山崎・廣岡, 1993)。今回は集計対象とした期間の結果から議論したもので、更なる経年的変化特性については、今後検討する必要があると思われる。

## 5. 豪雨災害発生年の予測

### 5.1 予測モデルの作成

1965年~1994年の30年間を対象に極重度災害年と重度災害年は8年で、総年数に占める割合は27%であったが、これらに属する災害年の経済損失や物及び人の被害等は非常に甚大であった。したがって、豪雨による被害が重度程度以上に属する豪雨災害年を事前に予測することができれば豪雨に対する防災や被害の軽減に役立てることができる。

豪雨災害発生年の長期予測に対して、上述した8年の時系列は短く、普通の時系列解析方法ではこのよう

な短い時系列に対する予測モデルは作りにくい。しかし、長期予測に灰色予測モデルを適用することによって、このような短い時系列に対する長期予測も可能となる(李・呉, 1988)。また、これまでの灰色予測手法について研究された結果(李・呉, 1988; 顧ほか, 1993b)によれば、気象災害の長期予測に対してこれまで使われた手法(回帰分析, 時間序列分析, 確率分析など)に比べ、灰色予測モデルは計算の手順が簡便で、予測の精度がかなり良く、特に異常豪雨災害年を取り扱った短い時系列に対して他の予測方法より有効性があることが報告されている。そこで、本研究は重度程度以上に属する豪雨災害年を異常豪雨災害年とし、これらの異常豪雨災害年を時系列として、その時系列の灰色予測モデルを作り、山口県において次の異常豪雨災害年がいつ発生するかという予測を試みた。

1965を1とした各異常豪雨災害に対応する番号を用いて時系列を構成すると次のようになる。

$$X^{(0)} = \{8, 11, 15, 16, 19, 21, 25, 29\}$$

この時系列をもとに、(6)式を用いて以下のように時系列の灰色予測モデルを作った。

$$\hat{X}^{(1)}(t+1) = 75.81950 \times \exp(0.146590 \times t) - 67.81950 \quad (t=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) \quad (8)$$

ここで、 $\hat{X}^{(1)}(t+1)$ は原時系列の累加列  $X^{(1)}(t)$  の推定値である。 $t \geq 8$  の場合に(8)式に示されたモデルにより得られるものは  $X^{(1)}(t)$  列の予測値であり、異常豪雨災害年の時系列  $\{X^{(0)}(t)\}$  の予測値は(7)式から求めることができる。

### 5.2 予測モデルの精度検証

予測精度は予測モデルの実用性を検証するのに重要な指標である。そこで、本研究は以下のように灰色予測モデルについて精度検証を行った。

$$C = S_2/S_1, \quad P = \{q^{(0)}(t) - \bar{q} < 0.6745S_1\} \quad (9)$$

ここで、 $q^{(0)}(t)$ は誤差、 $S_1$ は  $X^{(0)}(t)$  の標準偏差、 $S_2$ は誤差の標準偏差、 $\bar{q}$ は誤差の平均値である。 $C$ と  $P$ はそれぞれ検証比、小誤差頻度と呼ばれ、一般的には、 $C < 0.35$ ,  $P > 0.95$ の場合にはモデルの精度が良いと言われている(袁, 1991)。

(9)式をもとに計算した  $C$  と  $P$  はそれぞれ0.14と

第3表 灰色異常豪雨災害変化予測モデルの検証結果

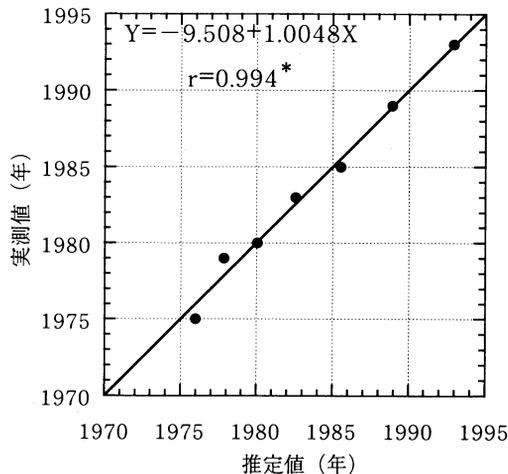
異常豪雨災害年	実測値	推定値	誤差	相対誤差 (%)
1975	11	11.97	-0.97	-8.82
1979	15	13.86	1.14	7.60
1980	16	16.05	-0.05	-0.31
1983	19	18.58	0.42	2.21
1985	21	21.52	-0.52	-2.48
1989	25	24.91	0.09	0.36
1993	29	28.85	0.15	0.52

1.00となり、予測モデルの精度は良いと判断される。予測モデルの精度検証を行った結果を第3表に示す。第3表を見ると、得られたモデルによる異常豪雨災害年の推定値の誤差は最大が1.14年、最小が-0.05年、平均誤差と平均相対誤差がそれぞれ0.04年と-0.13%である。異常豪雨災害年の実測値と得られたモデルによる推定値の比較を第5図に示す。図に示すように実測値(Y)と推定値(X)の間には1次回帰式( $Y = -9.508 + 1.0048X$ )が成り立ち、相関関係(r)が0.994(5%有意水準で有意)となり、得られたモデルによる異常豪雨災害年の推定値と、その実測値とはほぼ一致することが分かった。以上の予測モデルの精度の検証結果から、このモデルによって山口県における異常豪雨災害発生年は第3表に示すように高い精度で予測可能であることが分かった。得られたモデルによる異常豪雨災害発生年の予測値(番号)は33.40となり、年代に変換すると1997年となる。山口県では1994年~1996年は被害指数が小さく、1997年は山口県北部を中心に台風9号により豪雨災害が起り、大きな被害が発生し、被害指数は9.26であった。分類では異常豪雨災害年となり、異常豪雨災害の予測値の誤差は-0.40年となり、長期予測の精度から考えればよく合っていると言える。

## 6. まとめ

本研究は山口県を研究対象地域とし、豪雨による被害程度の定量的な評価と豪雨災害発生年の予測を目的として研究を行った結果、以下のようなことが明らかになった。

1) 誘因としての豪雨の原因を調べてみると低気圧、前線、台風、太平洋高気圧周辺などによるものである。梅雨前線に代表される低気圧や前線による豪雨災害が85.4%と最も多く、台風と太平洋高気圧周辺によるものがそれぞれ7.3%を占める。季節別に分けると、前線



第5図 異常豪雨災害年の推定値と実測値との関係 (X: 推定値, Y: 実測値, r: 相関係数, \*: 5%有意水準で有意)。

と太平洋高気圧周辺に伴う豪雨災害は6月~8月が主であり、低気圧の場合は4月と5月に、台風の場合は8月と9月に主として発生し、豪雨災害の誘因となった豪雨の主な原因は季節により異なる。

2) 1965年~1994年の30年を対象に豪雨による被害程度を極重度、重度、中度、軽度と微度の5つのタイプに区分した。そのうち、極重度災害年、重度災害年は計8年で、総年数の27%を占め、中度災害年、軽度災害年と微度災害年は計22年で、総年数に占める割合は73%となった。

3) 被害指数データを使い、灰色災害変化予測モデルにより異常豪雨災害年の発生について予測を試みた。得られた予測モデルは検証の結果、精度よい予測結果が得られた。これは灰色予測方法が短い時系列に対して他の予測方法より有効性があることを説明するものである。

今後は本研究をもとに、GISを利用した地域地表データ(リモートセンシングデータ、国土数値情報など)、アメダスとレーダデータ、災害データなどを総合的に処理し、豪雨災害危険度の評価及び予測システムを構築し、災害の評価に関する定量化及び自動化を図り、豪雨災害の発生の短期予測と長期予測を正確かつ迅速に把握できる方法と技術を開発し、地域の豪雨災害危険度の評価や防災に役立てる予定である。

## 謝辞

本研究を遂行するに当たって貴重な災害資料などを

ご提供いただいた山口県総務部消防防災課の徳光康弘氏、嶋田武志氏に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 顧 衛, 早川誠而, 鈴木義則, 1993a: ファジィクラスタ分析を利用した農業気象災害の分類, 農業気象, 48, 339-347.
- 顧 衛, 早川誠而, 鈴木義則, 1993b: 灰色システム理論により気象災害発生年を予測する研究—福岡夏季干ばつについて—, 自然災害科学, 12, 141-149.
- 高 建華, 1993: 江淮地区特大洪涝災害の灰色予測, 自然災害学報, 2 (2), 71.
- 早川誠而, 1996: 気象学的側面からみた豪雨と災害, 土と基礎, 44 (7), 1-5.
- Hayakawa, S., H. Tani, H. Yamamoto, J.Q. Zhang, Y. Ohgata, 1997: A strategy for reduction of heavy rainfall damage by surveillance using a local network of weather radar, J. Agric. Meteor., 52, 967-970.
- 市川政治, 1992: 気象学等への応用, 第3章, ファジィ理論と気象学, 気象研究ノート, (174), 29-86.
- 小葉竹重機, 1992: レーダー雨量計を用いた水害の発生予測法の開発, 平成3年度河川情報センター助成研究成果報告集, 財団法人河川情報センター, 137-141.
- 近藤純正, 1994: 身近な気象の科学—熱エネルギーの流れ—, 東京大学出版社, 90-91.
- 大原資生, 山本哲朗, 松田 博, 伊藤勤一, 亀松睦弘, 1991: 豪雨災害に対する防災ポテンシャルの変遷, 山口大学工学部研究報告, 42 (1), 65-72.
- 李 徳, 呉 覓, 1988: 災害性気象事件長期予測的灰色理論方法及実例応用, 災害科学, (4), 11-15.
- 袁 嘉祖, 1991: 灰色系統理論及其応用, 科学出版社, 122-123.
- 山口高志, 北川明, 井良沢道也, 杉浦幸彦, 竹森史郎, 1993: レーダ雨量を用いた土砂災害予測, 河川情報研究, (1), 71-89.
- 山崎道夫, 廣岡俊彦, 1993: 気象と環境の科学, 養賢堂発行, 119-166.
- 張 継権, 早川誠而, 1998: 山口県における豪雨災害危険度の評価と危険地域の区分に関する研究, 自然災害科学, 16, 277-292.

## Assessment and Prediction of the Years of Disaster Caused by Heavy Rainfall in Yamaguchi Prefecture

Jiquan Zhang\*, Seiji Hayakawa\*\*, Haruhiko Yamamoto\*\* and Kenji Suzuki\*\*

\* (Corresponding author) United Department of Agricultural Science Graduate School of Tottori University, Tottori 680-0945, Japan.

\*\* Faculty of Agriculture, Yamaguchi University.

(Received 4 September 1997 ; Accepted 31 July 1998)