

ハイエトグラフの地域別・原因別パターン特性

Factor Analysis of Hyetographs

with Different Meteorological Causes in Different Regions

山梨大学工学部 正 会 員 竹 内 邦 良
同 学 生 会 員 大 石 和 人

1 はじめに

ハイエトグラフのパターン特性は、洪水対策・排水計画等の立案に当って考慮されねばならない、重要な水文要因の一つである。中でも計画に必要・不可欠な情報は、ピーク附近の性質に関するものである場合が多いため、これまでの研究にもその部分を抽出して時系列特性を解析したものが多い。本稿はこのような一般的研究方向とは別に、直接計画に役立たせる目的ではなく、純水文学的関心からハイエトグラフ全体の時系列特性、ことに地域別・気象原因別、また降雨継続時間別パターン特性を解析したものである。この結果二・三極めて興味深い事実が明らかになった。その一つはハイエトグラフの基本的パターンとしては、洪水対策上危険であるとされる後半ピーク型が高い説明力をもって存在していること、しかもその因子は短時間集中型の降雨ほど、また豪雨地域のものほど強く現われるということである。この事実は集中豪雨の対策上示唆する点多いものと思われる。以下に解析の詳細を述べる。

2 解析対象資料

表1, 2は解析に用いた降雨資料の概要である。甲府気象台の資料は比較的降雨量の少ない地域の例として、尾鷲測候所のものは逆に多雨地域の例として採用した。日本の年平均降雨量は1,800mm強であるから、両地点の多寡の度合がわかる。ところで尾鷲では甲府の3.7倍の降雨量が観測されるが、日雨量1mm以上の降雨日数ではわずかに1.4倍足らずである。これは尾鷲では一旦降ればどっと降るということを意味しており、必ずしも降雨を発生させる気象条件が著しく高い頻度で生じるということではない。降れば豪雨ということは、降雨日数としては1.4倍にすぎないのに、30mm以上の降雨日数になると5.6倍になっていることからうかがわれる。また後に詳しい説明を行うFig. 1は甲府・尾鷲両地点でのそれぞれの最大降雨のハイエトグラフであるが、この規模の著しい違いからも降雨量の差はわかる。

解析に用いた資料は甲府の1941~1974年(45年欠)の33年間と、尾鷲の1967~1979年の12年7ヶ月に及ぶものである。降雨の選定に当っては次の規準を用いた。(1)一雨総降雨量が10mm以上であるもの。(2)一雨とは前後を10時間以上の無降雨状態に挟まれ、中間に継続して10時間以上の無降雨状態の含まれていないもの。なお無降雨には気象台の降雨量記録が0、すなわち降ってはいないが雨量計には表示されないという雨は含まれず、純粹に雨の全く降っていない状態のみをさす。したがって1~9時間以内の無降雨と降雨量0の降雨のいくつか重なった長いスペルが含まれる降雨も、今回の解析では一雨として勘定されている。(3)解析に当っては降雨の初期・末期に長い微降雨状態の続くことが多いので、この部分は取り除いた。すなわち、降り始めより累加降雨量が2mmに達しない部分の降雨、並びに降雨終了時点より逆算して累加降雨量が2mmに達しない部分の降雨を取り除いて、本格的な降雨部分について解析を行った。このように選定された降雨は、10mm未満のものも含めた総降雨量に対して、甲府で81%、尾鷲では96%に当たっている。

Fig. 2は、両地点における継続時間長と微雨期間長との関係を示したものである。雷雨性では初期の微雨継続時間は末尾に比べ半分以下であり、かつ他に比べ短い、他の原因ではいずれも前後約6時間ずつの微降雨部分がついている。しかも平均的には甲府・尾鷲でこの関係は共通している。気象原因別分類は今のところ甲府についてのみであるが、ここでは圧倒的に低気圧性・前線性の多いのが注目される。なお気象原

表 1 甲府および尾鷲資料の比較 ことわりのない()内は、微雨部分を取り除いたもの

		甲 府			尾 鷲			
概 要	年平均降雨量	('41 ~ '70) 1,129 mm			(左に同じ) 4,158 mm			
	1mm以上の降雨日数	('51 ~ '70) 95 日			(") 130 日			
	30mm以上 "	(") 7 日			(") 39 日			
解 析 に 用 い た 資 料 の 諸 元	資料期間		'41.1 ~ '74.12 ('45欠) 33 年			'67.1 ~ '79.7 12 年 7 ヶ月		
	一雨10mm以上の降雨数(年平均)		959 (29)			599 (48)		
	降 雨 量	年平均降雨量 (mm)	915 (853)			3,980 (3,896)		
		一雨降雨量 平均 (mm)	31 (29)	生起年月日	継続時間	84 (82)	生起年月日	継続時間
		1位	307 (305)	'47. 9. 13	56 (49)	1,558 (1,555)	'68. 9. 24	132 (116)
		2位	305 (302)	'61. 6. 25	124 (118)	1,095 (1,094)	'71. 9. 9	65 (47)
		3位	292 (290)	'50. 6. 8	147 (114)	975 (973)	'77. 8. 24	112 (94)
		時間降雨量 1位 (mm)	48.9	'56. 7. 21		105.0	'72. 9. 14	
		2位	46.2	'66. 7. 22		94.3	'67. 10. 27	
		3位	45.1	'48. 9. 16		92.5	'75. 8. 10	
		一雨 平均	28 (17)			37 (26)		
		継続時間 1位 (hrs)	147			197		
	2位	124			173			
	3位	118			152			
	統 計 時 間	初期微雨時間長	累計	5.84		5.79		
末期 " (全資料平均 hrs)		(2 mm 未満)	5.53		6.18			
10時間以上降雨数		880 (545)			578 (451)			
5~9時間 "		59 (288) 1時間降雨数			17 (114) 1時間降雨数			
	4時間以下 "	20 (126) { 0 (21) }			4 (34) { 1 (4) }			

表 2 甲府資料の気象原因別・継続時間別降雨数 ()内は表1と同意

	低気圧性	前線性	台風性	雷雨性	北東気流型
10時間以上降雨数	467 (251)	308 (215)	86 (72)	11 (2)	8 (5)
5~9時間 "	24 (197)	12 (72)	0 (12)	22 (4)	1 (3)
4時間以下 "	1 (44)	6 (39)	0 (2)	13 (40)	0 (1)
計	492	326	86	46	9

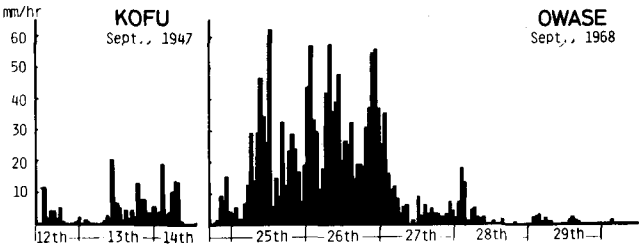


FIG. 1 HYETOGRAPHS OF THE LARGEST STORMS AT KOFU AND OWASE

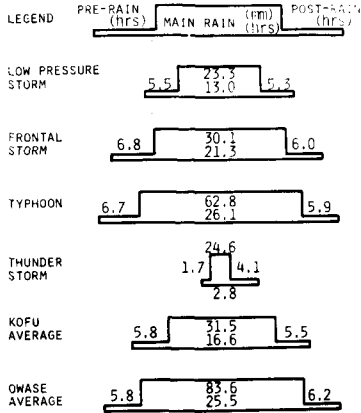


FIG. 2 MEAN DURATIONS OF PRE- AND POST-RAINS AS COMPARED WITH MAIN PART OF RAIN

因の分類は筆者らが天気図を読んで判断したものである。必ずしも正確とは言い難いが、その最大の理由は一つの降雨でも様々な気象原因が重って生じるため、原因を限ることが困難だからという点にある。またかりに低気圧性ということをはっきりしていても、この分類では太平洋型、日本海型、二つ玉型など細部の分類はしていないので、気象原因の大分類を与えたにすぎない。

3 因子分析の方法

ハイトグラフのパターン上の特徴を把握するために、主因子分析法を用いる。この方法は因子分析法の中でも最も主成分分析に近いものであって、観測値の分散を最大限説明する互に独立な因子を最小自乗法により抽出するものである。主因子分析の特徴は各変量に異った分散をもつ特殊因子が含まれているとして推定する点にある。然しながら特殊因子があるとしてもその分散は各変量につき等しいとする主成分分析と結果

はさして変わりなく、したがって両手法のうちいずれを選択するかに関しては、パターン抽出を目的とする限りあまり厳密に考える必要はない。但し甲府ならびに尾鷲の降雨パターンの差あるいは気象原因別パターンの差等を鮮明にすることを目的とする場合には、今回は検討に加えなかった正準相関分析を用いる必要がある。

観測ベクトル $\mathbf{x}$ としては、降雨継続時間が10時間以上のものおよび5～9時間のものについては12個の変量 $x_1, x_2, \dots, x_{12}$ を考えた。それらは、

$x_1, \dots, x_i, \dots, x_{10}$: 降り始めより継続時間の10($i-1$)～10*i*% 内の降雨量

x_{11} : 総降雨量の自乗値

x_{12} : 継続時間の逆数

である。すなわち $x_1, \dots, x_{10}$ は降雨継続時間を10等分して、各区間内での降雨量を表わすものであって、ハイトグラフのパターンを探るための基本変量である。 x_{11}, x_{12} は得られたパターンの解釈を助けるための補助変量である。ここに x_{11} を総降雨量の自乗値としてあるのは、単純に総降雨量とすると

$x_{11} = \sum_{i=1}^{10} x_i$ となって観測ベクトルの相関係数行列 R が正則にならないからである。

次に継続時間が1～4時間以内のものについては、基本変量は $x_1, \dots, x_5$ と半分にした。すなわち、

$x_1, \dots, x_i, \dots, x_5$: 降りはじめより継続時間の20($i-1$)～20*i*% 内の降雨量

x_6 : 総降雨量の自乗値

x_7 : 継続時間の逆数

いずれの場合も各変量に対応する降雨量が時間降雨量区分値と一致しないときには、比例配分により各変量に当てはめた。

主因子法のプログラムは、浅野長一郎著、因子分析法通論（共立出版，1971）に掲載されたものを中心に作成した。

4 得られた因子パターンとその解釈

因子数の決定方法はおおむね固有値が1以上という規準に則った。但し甲府と尾鷲の解析結果で同一パターンと認められるにもかかわらず、一方が1以上他方が1未満のものについては、双方とも因子として採用した。このようにして決定された数の因子による共有性は、各変量につきかなりの違いがあるが、時間別降雨量ならびに総降雨量の自乗値はおおむね高い共有性を持ち、降雨継続時間は小さくなっている。この傾向は短時間降雨ほど著しく、甲府10時間以上の降雨量に関する変量の共有性が0.5～0.7を主体にしているのに対し、5～9時間のものでは0.8が主体、また4時間以下の降雨では0.9が主体になっている。尾鷲のものでも同傾向であるが、値は全般的に甲府より大き目である。このことは以下に示されるように、得られた因子による全分散の説明力が甲府よりも尾鷲において高く、また継続時間の長いものより短いものにおいて高いことを示唆している。一方降雨継続時間の共有性は甲府10時間以上が最高の0.29、これが4時間以下のものではほとんどゼロとなっており、降雨継続時間が必ずしも基本パターンを決定する上で重要ではないことを示している。短時間降雨で共有性がゼロに近いことは、これを裏づけるものである。

まず甲府・尾鷲両地点別、継続時間別の計算結果を、Fig. 3.4に示す。図中に示したように、得られた3個ないしは2個の因子によって、変量の全分散の60～80%が説明される。このことは、継続時間について正規化したハイトグラフの形状は、ごくわずかの基本パターンの合成として表わされることを示している。第一因子の特徴は、時間別雨量に関する変量に対する係数がすべて正であり、総降雨量の自乗値に対しては大きな正の係数、継続時間の逆数に対しては負の係数となっていることから、これは各時間とも降雨量が多くまた継続時間も長いパターンを表わすものと推定される。したがってこの因子を大雨・小雨型と呼び F_1 をもって表わすこととする。大雨では F_1 の因子評点（これをやはり F_1 で表わす）は正、小雨では負となる。

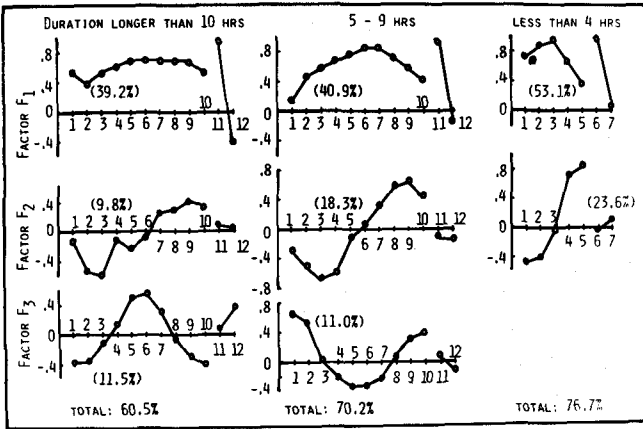


Fig. 3
Factor patterns of hyetographs
with different durations
at KOFU

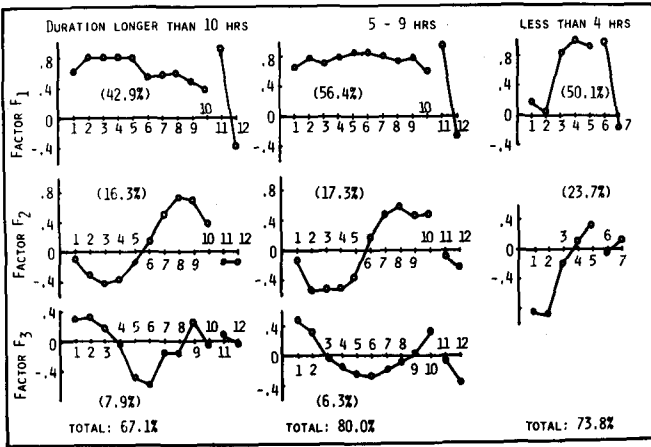


Fig. 4
Factor patterns of hyetographs
with different durations
at OWASE

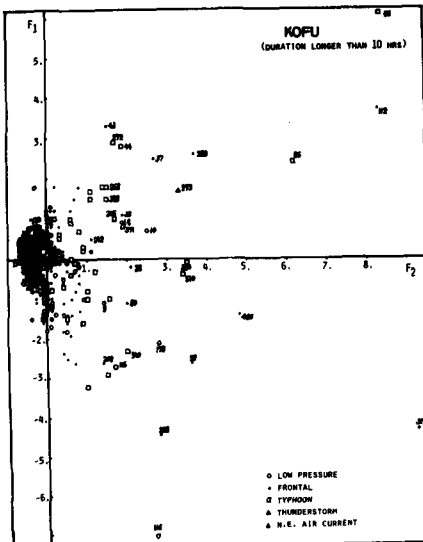


Fig. 5
Factor scores F_1 v.s. F_2 at KOFU
(duration longer than 10 hrs)

F_1 因子は細かい点では甲府・尾鷲で差があり、また継続時間長別でも差がある。最も資料数の多い継続時間が10時間以上の降雨について見れば、甲府の雨が前低後高型（右上がり）であるのに対し、尾鷲の雨では前高後低型（右下がり）になっていて、大雨の場合の平均的な降雨パターンにこのような差があることがわかる。この原因は、甲府の大雨は台風等に刺戟された前線の活発化により降りはじめ、その接近に伴って強度を増し、通過と共に急速に衰えるケースが多いことと対応し、また尾鷲の大雨は台風の接近により大雨としてはじまり、通過後も一部その影響が残るなどして雨の続く場合が多いことに対応している。

例えば釜崎・甲府において死者・行方不明合わせて21名を出した、1959年8月の台風7号は、10日にマリアナ東方洋上に発生した熱帯性低気圧が、12日10時硫黄島の南東約500kmで台風へ成長、さらに13日15時には中心示度960mb、中心附近の最大風速45mとなって北上し、14日6時半富士川河口附近に上陸、富士川を逆上って7時半甲府盆地の西部を時速約75kmで通過し、10時には日本海に抜けたものである。この間の甲府における降雨記録はFig. 1に示すとおりであった。12日午後から13日正午にかけての降雨は四国沖の低気圧より伸びる前線の活発化によるものであり、その後に台風の直接もたらした降雨がつづいている。台風通過後14日9時には降雨は終了、天気も回復に向った。

一方同図に示す尾鷲での記録は、1968年9月の第3宮古島台風の際のハイトグラフである。この台風は23日未明沖縄県宮古島を通過、秋雨前線を刺戟しながら北上して、24日23時鹿児島県川内川の河口附近に上陸、その後長崎県東部に停滞して、25日正午温帯性低気圧に衰弱したものである。一般に尾鷲での台風性降雨は、台風がこの地点の西側を通過した場合に通過後も雨の残ることが多い。これは台風が反時計廻りに南側の温暖多湿の空気を引き込んで移動するための現象であり、東南を太平洋に接する尾鷲としては当然の地理的結果と言える。なお多くの台風が四国・九州以西を通過することから、このようなケースの多いことも理解出来る。

尾鷲における継続時間4時間以下の雨に対する第1因子は極端な前低後高型をしているが、これはサンプル数が34と、他に比べ極めて少ないことから一般的な傾向として論ずることは出来ない。また継続時間に関する係数が、継続時間の短いケースほど小さくなっているのは当然のこととしてうなづける。

次に第2因子に移る。第2因子はすべて前半に負の値、後半に正の値の係数となっている。総雨量ならびに継続時間に関する係数は小さく、したがってこの因子は雨量、継続時間には無関係で、後半にピークの出るハイトグラフの形状を表わすものと考えられる。これを後半—前半ピーク型と名づけ、 F_2 によって表わす。このパターンは継続時間4時間以下の場合を除き他はいずれも極めて似通った形をしている。すなわち降雨開始初期に負値とはいえ比較的ゼロに近く、その後大きな負の値になり、やがて大きな正の値に移って最後に再びやや小さな値に戻る横S字型である。これはやはり代表的なハイトグラフの形状であって、第1因子である大雨型パターンの上にこのパターンが乗っているものと考えれば良い。なお4時間以下については単純な右上がり曲線になっているが、これは短時間であるため複雑な傾向としては表われないということにすぎない。

F_2 因子の分散説明力は、10時間以上の降雨では、甲府において10%であるのに対し尾鷲では16%とかなり高くなっている。また短い雨程この因子が強力であることもわかる。この事実は、短時間降雨ほど少数の因子に左右されていることと共に、ハイトグラフの形状を決定する上での後半ピーク型の高い影響度合を示すものとして興味深い。

次に第3因子は、甲府の10時間以上の降雨では固有値第2位となっているが、一般にその説明力は12%以下とかなり小さい。これもやはり総降雨量と継続時間にはあまり依らず、したがってハイトグラフの形状を示す因子と考えられる。すなわち中央—両側ピーク型のパターンを示すものである。これを F_3 因子と呼ぶ。なお甲府の10時間以上の雨にあっては継続時間の短いものに対する係数が大きな正の値になっていることから、短時間集中の豪雨—地雨型であるとも解釈出来る。甲府10時間以上の雨に対する F_3 と、その他の F_3 では凹凸が逆になっているが、これは本来因子軸の方向余弦であるから、その向きに正逆はない。

したがって凸型の場合の因子評点 F_3 を正とし、凹型に対しては $-F_3$ の値をもって F_3 軸の評点とする。

以上で因子軸の解釈を終り、次に各雨と因子評点の関係について検討する。Fig. 5 は甲府における10時間以上の雨についての F_1 と F_2 、すなわち大雨型と後半ピーク型因子の因子評点を示すものである。原因別に示してあるが、表2からもわかるように低気圧性・前線性のものが点として多くなっている。各因子軸の評点の平均がゼロ、また F_1 、 F_2 が無相関であることは一目瞭然である。但し、 F_1 軸に関しては負の値が -0.8 を超えることはなく、また全体の形状は放物線型包絡線を構成している。このことは F_1 の値がある程度大きくなければ F_2 の絶対値の大きいものもないということであって、小降雨では後半・前半ピークパターンが著しくはなり得ないということに相当している。そもそもの雨量が少ないのであるから、ピークもやはり低く、そのために現われる当然の現象である。

F_1 の値の大きい点、すなわち大雨に注目すると、全体の標本が低気圧性・前線性のものに偏っているにもかかわらず、低気圧性のものは少く、台風性・前線性のものが大勢を占めている。甲府に大雨を降らせるものはこのように両原因に依るものが多いわけである。ここで番号を付したものは総降雨量が 100 mm を超えるものである。台風性のものでは $F_2 > 0$ すなわち後半ピーク型が大勢を占めていて、先に例として挙げた1959年の7号台風の場合のような降雨形式の多いことを裏づけている。尾鷲については気象原因別分類作業が終っていないため、因子評点からの判断は出来ない。

次により短時間の降雨についての因子評点の散らばりを検討する。Fig. 6, 7 は甲府における降雨の継続時間がそれぞれ5～9時間、4時間以下のものの F_1 、 F_2 をプロットしたものである。10時間以上のものと同様点群は放物線型の領域を形成している。5～9時間のものでは低気圧性が、また4時間以下のものでは雷雨性が多い。雷雨性のものでは $F_2 < 0$ すなわち前半ピーク型が大勢を占めているが、これは積乱雲の急成長による降雨とその消滅の過程と符合する。

F_1 、 F_3 の分布は F_1 、 F_2 のものと全く同様な放物型を示すが、気象原因別に見ても特に偏りは見られない。したがってこの分布図より得られる情報は少い。なお $F_1 \sim F_3$ 図が放物型領域にプロットされる理由は、 F_3 が形状特性であることから、 $F_1 \sim F_2$ の関係の場合と同様である。

F_2 、 F_3 の分布についても特に目立った傾向は見られない。Fig. 8 は甲府10時間以上、 100 mm 以上の降雨についての分布図である。このように無原則な様相を呈するのは、 F_2 、 F_3 がいずれもハイトグラフの形状を表わす互に独立なパターンであることから当然と言える。

尾鷲の降雨についても $F_1 \sim F_2$ 図、 $F_2 \sim F_3$ 図とも甲府と同様の様相が見られた。Fig. 9 は 150 mm 以上の雨についての $F_1 \sim F_2$ 図である。これによると F_1 の特別大きいものを除くと、点の密度が $F_2 > 0$ において高くなっている。このことは尾鷲の大雨の一般的傾向としては、やはり後半ピーク型になっていることを意味している。但しこれは第1因子によって説明されない部分についての傾向であるから、 F_1 がやや前半ピーク型になっていることを合わせて考えると、 F_2 の説明力16.3%は、後半ピーク型としてはやや割り引いて見る必要があろう。したがって同地点における5～9時間の降雨の F_1 が後半ピーク型でなく、 F_2 が17.3%の説明力を持っているのは10時間以上の降雨の場合よりかなり後半ピーク型の説明力が強いと言える。

5 まとめ

以上の解析を通じて得られた結論を列挙する。

- (1) いずれの地域・継続時間の雨についても、ハイトグラフは高々3つの基本パターンの合成により表わされる。その説明力は全分散の60～80%である。
- (2) 最も強いパターンは大雨・小雨型である。説明力は約40%である。
- (3) 第2の基本パターンは後半・前半ピーク型である。この説明力は10～23%弱と地域別・継続時間別

にばらつきが多いが、尾鷲においては甲府におけるよりも強く、また短時間降雨程強い。このことは洪水・排水計画に示唆する点大である。

(4) 甲府における台風性降雨ではとくに後半ピーク型が顕著である。

(5) 第3の基本パターンは中央・両側ピーク型であるが説明力は12%以下である。

(6) 第2・第3因子は形状を表わす因子であるため、その値が強調されるのは、比較的大雨の場合に限られ、その結果 $F_1 \sim F_2$ 図、 $F_1 \sim F_3$ 図の点群は放物線を包絡線とする領域に散らばる。

今後はさらに多くの地域における原因別時間降雨量記録の解析を行い、複雑な気象条件の組み合わせの結果として生じるハイエトグラフの形状を、単純な基本パターンの合成として把える作業を続けたい。また得られた統計的事実とその背景にある気象現象との関係を明らかにし、計画・対策上の具体的手段に結びつけるための検討に発展させる方針である。

本研究に当っては文部省昭和54年度科学研究費補助金、自然災害特別研究(1)(課題番号:402023、代表者:京都大学 高埴琢馬教授)の援助をいただいた。また降雨資料は甲府気象台ならびに気象庁資料室より御提供いただいた。謹んで謝意を表する。

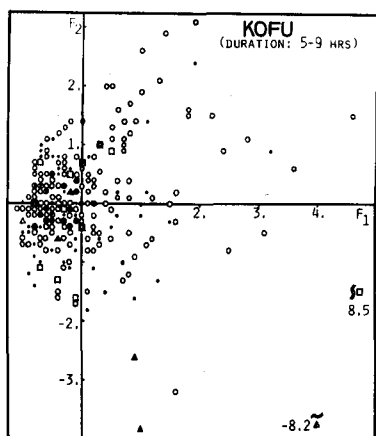


Fig. 6 Factor scores F_1 v.s. F_2 at KOFU (duration 5 - 9 hrs)

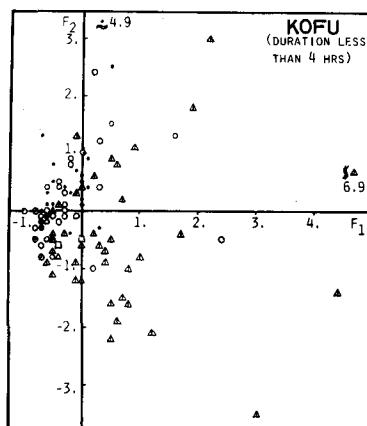


Fig. 7 Factor scores F_1 v.s. F_2 at KOFU (duration less than 4 hrs)

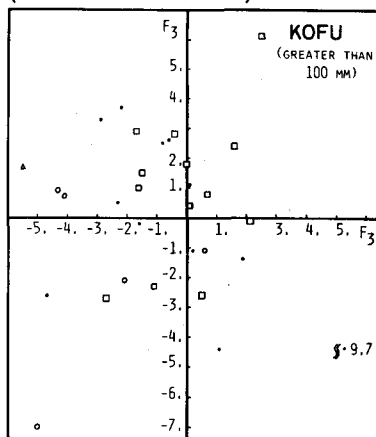


Fig. 8 Factor scores F_2 v.s. F_3 at KOFU (total rainfall ≥ 100 mm)

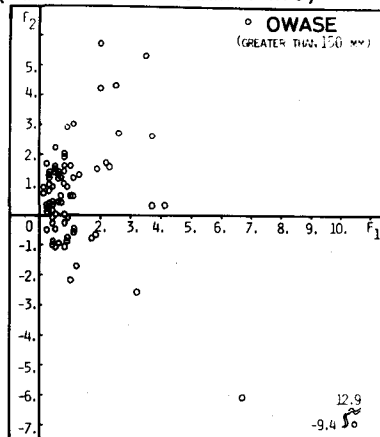


Fig. 9 Factor scores F_1 v.s. F_2 at OWASE (total rainfall ≥ 150 mm)