

豪 雨 の 研 究 (Ⅳ)

—— 豪雨時の 10 分間雨量の解析 ——

中島暢太郎・後町幸雄・枝川尚資

STUDIES ON HEAVY RAINFALL (IV)

—— Time Change of 10 Minutes Precipitation
in the Cases of Heavy Rainfalls ——

By Chotaro NAKAJIMA, Yukio GOCHO and Hisashi EDAGAWA

Synopsis

We analyzed the time changes of 10 minutes precipitation in the cases of heavy rainfalls in Japan. We could describe the features of several types of the time changes of the rainfall intensities. These features show the influence of topography and the causes of rainfalls.

We also analyzed the time changes of the heavy rainfalls relating to the disasters produced by these heavy rainfalls especially relating to the occurrence time of rocky-mud-flows.

緒 言

豪雨の研究(I)においてわれわれは日本における豪雨を気候学的に取り扱い、豪雨の強さやひろがりについて概説したが、今回は豪雨時の降雨強度の時間的経過が豪雨の原因となる気象パターンや地形条件によってどのように異なるか、そしてそのような降雨型の相異が水災害とどのように対応しているかについてさらに詳しく実例を用いて記述する。

対流雲の発達、台風に伴うレインバンドの発達、移動に対応した降雨強度の時間経過を解析するためには出来るだけ短時間の降雨強度のよみとりが望ましいが、自記雨量計の自記紙の時刻の精度(特に多地点の間の相対的時間差)を考えると10分間降水量のよみとり資料を利用するのがもっとも合理的であると考えられる。このような資料を解析すると1時間から数時間ぐらゐの周期で降雨強度が変動している特色がよく見られ、さらに土石流、山腹崩壊などの発生時刻との対応をたしかめることが出来る。

以下に最近著しい災害をもたらしたいくつかの豪雨について上記のような解析を行なった結果を述べる。

2. 山岳性降雨と対流性降雨

日本の降水量の記録としては、24時間降水量は1100 mm、1時間降水量では150 mm、10分間降水量は40 mm ぐらいとされている。24時間降水量の大きな値は山岳地方で発現することが多いが、1時間降水量や10分間降水量の大きな値が発現するのは必ずしも山岳地方とは限らない。

Fig. 1 には対照的な2例の降雨強度変化を対比させた。その一つは1967年10月27～28日に秋としては珍しい台風6734号が紀伊半島に近づいた時の三重県尾鷲の例であり、他の一つは1968年8月17～18日に日本海にある低気圧から南西に延びる寒冷前線の南下に伴って京都市付近と岐阜県に集中して降った雷雨性集中豪雨の中心域にある京都市西部の太閤坦の例である。尾鷲の方は総雨量362 mmでそのピーク時には20 mm/10 minの降雨強度に達しているが降り方は全体として大きな山型でピークが鋭くない。これに反して

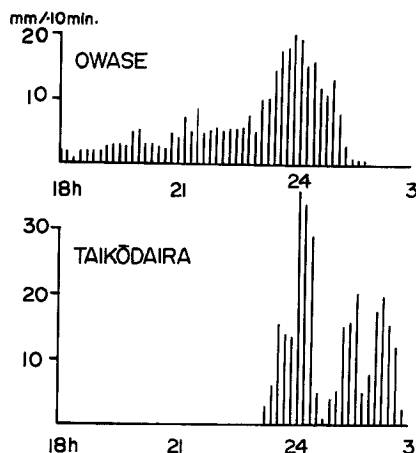


Fig. 1 Time change of 10 minutes precipitation in the cases of heavy rainfalls. Owase, 27-28 Oct. 1967; Taikodaira, 17-18 Aug. 1968.

太閤垣の例では1時間ぐらいの周期で3個の鋭いピークが目立っており、特に第1のピークは36mm/10minと日本では記録的な値に達している。前者のような降雨型は時間経過も単調であるが比較的広域にわたって似たような降雨型が現われる。しかし後者のような場合にはわずか2~3kmはなれたところでも全く降雨型(全体の形、ピークの出現時刻)が異なり地域分布が一様でない。この1968年の場合の10分間降水量分布の時間変化については豪雨の研究(I)のFig. 8に示した。

次の例は1967年8月28~29日の羽越水害で、新潟、山形、福島3県の境界付近を中心に24時間降水量が600mmをこえ、死者行方不明140名を出す惨事となった。この時の降雨状況をレーダー写真で観察すると細長い降雨集中帯が日本海から東南東へ延びているのが見られる。この羽越豪雨の中心部付近ではかなり長時間にわたって大雨がつづいているのに対して南の方では非常に集中的な降雨が見られる。Fig. 2にはこの2種類の降雨型を1時間雨量で対比して示している。南部の早出では総雨量は273mmだが3個の著しいピークが見られ、特に29日の6時頃には60mm/60minをこえる強いピークが見られる。しかしこの場合もこの鋭いピークは場所によって発生時刻や大きさが著しく異なり、早出に比較的近い阿賀野川上流の安田町では29日2~4時に降雨のピークが現われ土石流の発生によって多数の死者が生じた。Fig. 2に示されているもう一つの降雨型は北部の村上のもので、ここでは総雨量は345mmと多くこの方面では河川の氾らんが各地で起こったが、その降り方は早出とは対照的で長時間にわたって降りつづけピーク降雨量は早出の半分ぐらいであった。

Fig. 3は1971年8月30日の台風7123号が975mbの中心示度で15時に足摺岬をかすめて土佐湾に入り20時頃高知県南国市に上陸、夜半過ぎ980mbに衰えて播磨灘に抜ける間の南東風による三重県北部各地の降雨経過を示す。足摺岬とこの付近は約400km、播磨灘とこの付近は約200kmの距離である。16時頃の鋭いピークは海岸の津と武平峠(鈴鹿山系)とでほとんど同程度に現われているが、地形の影になっている四日市、上野には現われていない。その後の19時、21時、24時頃のピークも両者には顕著に四日市には前2者だけ弱く現われているが山脈の風下側の上野には現われていない。武平峠はこれらの鋭いピークとは別に全般的な地形性降雨の特性が強く現われている。

以上いくつかの例によって述べて来たように、山岳性の豪雨は一般に持続性があり降雨経過は大きな山型をしている。一方平野部は平均年降雨量は少ないが集中豪雨は時々起こり、そのような場合には対流性、雷雨性の集中豪雨となり、降雨経過にはいくつかの鋭いピークが見られる。降雨のメカニズムにも関連して、

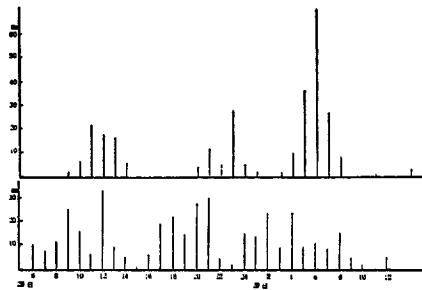


Fig. 2 Time change of hourly precipitation. Hayade and Murakami 28-29 Aug. 1967.

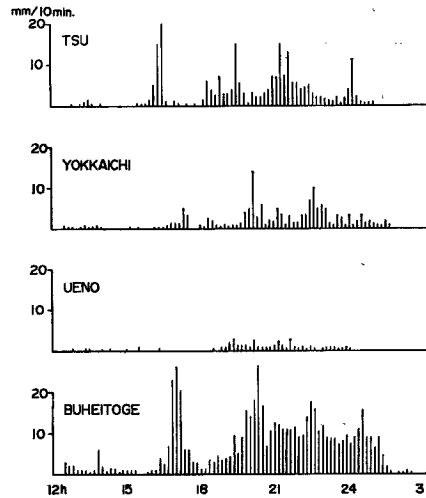


Fig. 3 Same as Fig. 1. but for Typhoon 7123. Tsu, Yokkaichi, Ueno and Buhei. 30 Aug. 1971.

雨滴の大きさも平野部の大雨では大きく山岳性の降雨では小さいことが知られている。

3. 台風による豪雨の解析例

台風の場合の降雨特性を明らかにするために1970年8月21日8時に四国足摺岬の東に中心示度960 mbで上陸し、3時間後の11時頃松山の東を970 mbで北に抜けた台風7010号による四国地方の大雨の解析結果を報告する。Fig. 4はこの台風の990 mbの等圧線が足摺岬にかかった8月2日3時の地上天気図であり、この台風の規模の概要を知ることが出来る。Fig. 5は四国各地の総雨量分布と台風の径路および次にとり

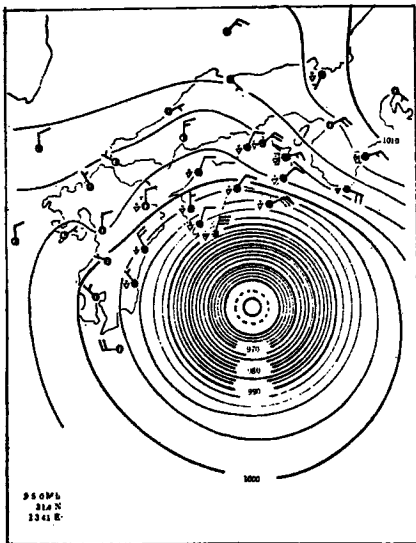


Fig. 4 Surface weather map at 03 h 2 Aug. 1970. (Typhoon 7010)

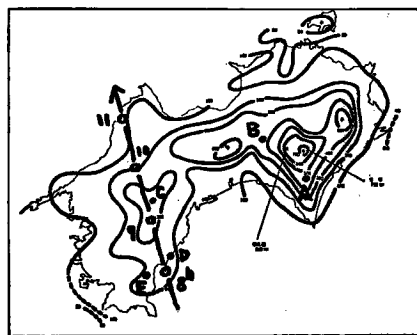


Fig. 5 Total amount of precipitation and path of Typhoon 7010. Positions of (A) Kamiyanase (B) Nishihoe (C) Funado (D) Saga (E) Nakamura

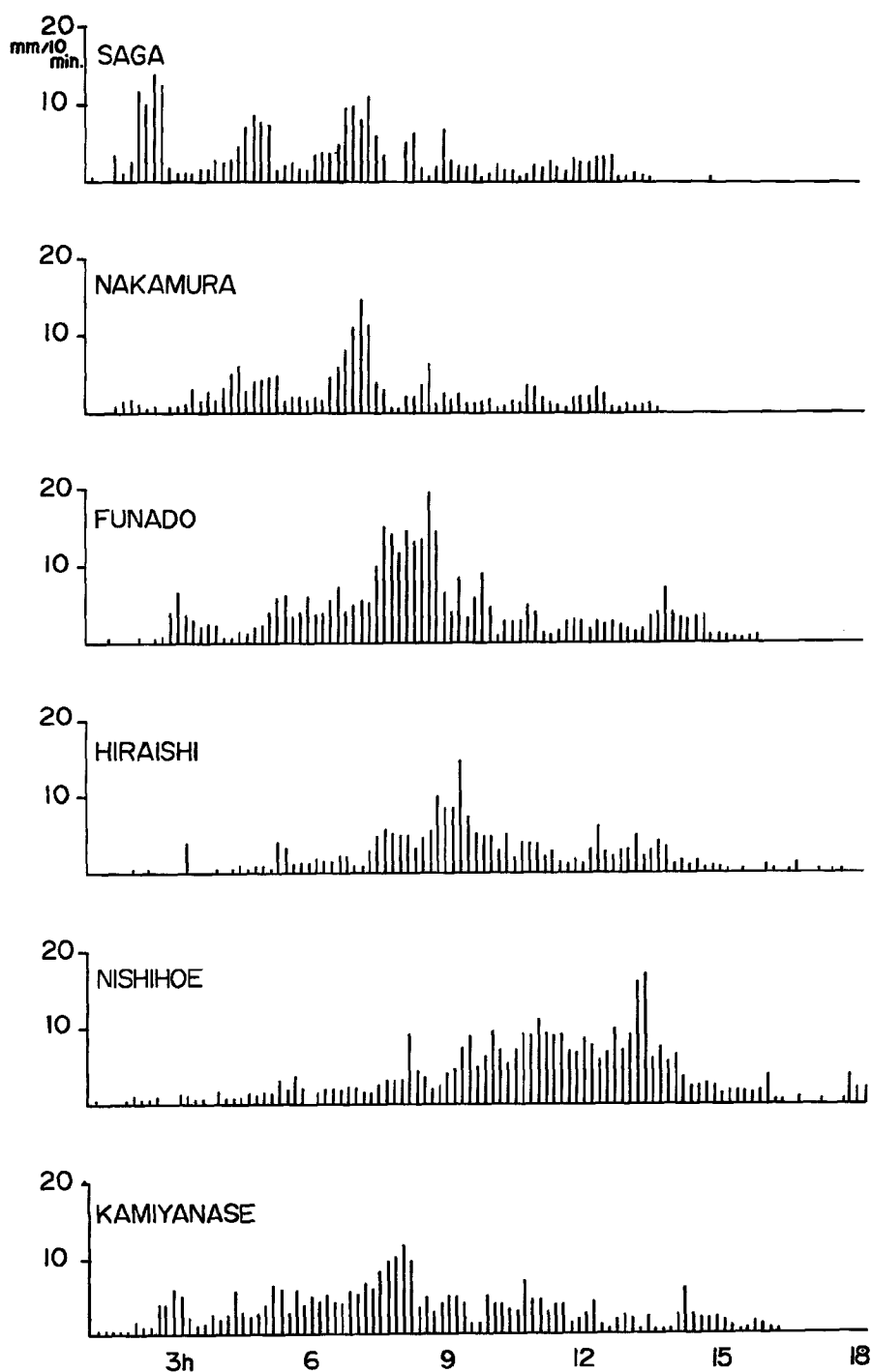


Fig. 6 Same as Fig. 1. but for Typhoon 7010. 21 Aug. 1970.

あげる観測地点の分布を示している。総雨量は四国山脈の東部で 700 mm 四国山脈の西部で 300 mm に達している。しかし以下に述べるようにこの雨は同時に降ったのではなく、またその降雨経過の様子は場所によって大いに異なる。これは台風がその姿を乱さないまま接近した海岸部と山岳の地形効果を大きく受けた内陸部の相異、また台風中心の径路と観測点の相対位置などによるものである。Fig. 6 には高知県各地の 10 分間雨量の時間経過の様子が示されている。まず四国山脈東部の最高峰の南方にある多雨で有名な上魚梁瀬のグラフに注目すると、台風が四国に近づいて 1000 mb の閉等圧線が四国南部に侵入するようになった 20 日夜半から四国山岳部で雨が強くなり出したが、ここでは 2 時半頃に 6 mm/10 min の鋭いピークが現われている。そして台風が四国に上陸する直前の 7 時半頃、台風中心からの距離が 120 km ぐらいの時に 11 mm/10 min の最大値を記録している。その後は風向の変化に伴って降雨強度は急に弱まっている。すなわち上魚梁瀬の雨は台風自身の構造による雨の消長も見られるが主として台風接近時の南東風による地形性の雨といえよう。

次に劔山を中心とする高い山群の西側で吉野川上流に当る西豊永のグラフに注目すると、ここでは上魚梁瀬の降雨ピークが終った頃（上陸時）から風向変化に対応して急に降雨強度が強まり、台風が松山付近に達した 11 時頃に 11 mm/10 min のピークに達し、その後台風が中国地方に再上陸して風向が北分を持ちはじめた 13 時頃 18 mm/10 min の鋭いピークを記録した後急速におとろえている。このように上魚梁瀬と西豊永は比較的近くに位置しながら山岳に対する相対位置の相異から降雨特性に著しい差を見せている。

9 時頃に台風がほとんど真上（稍々西）を通過した船戸は地形的には上魚梁瀬と比較的よく似た南斜面に位置しているためその降雨経過もよく似ているが、ただ台風が真上付近を通ったためその頃の風向変化も急であり、7 時半から 9 時頃までは 10 mm/10 min をこえ、特にそのピークは 20 mm/10 min にも達する鋭いピークとなった。

以上の 3 地点はいずれも地形性降雨の影響がよく現われているが、さらに興味深いのは上陸地点に近い佐賀と中村のグラフである。佐賀は上陸地点のすぐ東側にあり中村は約 20 km 西に位置している。この 2 地点では 21 日 0 時から 12 時頃までの間に約 2 時間の周期でかなりはっきりした 7 個の降雨ピークが見られる。台風の上陸前後の進行速度は約 40 km/hr であったので、この時間間隔を空間的な距離間隔に換算すると約 80 km となる。中村と佐賀では上陸約 1 時間前に 10 mm/10 min をこえる強い降雨が見られ、これは台風中心から 45~50 km にある台風の一歩内側のレインバンドによるものと思われる。

佐賀では 2~2 時半頃に 13 mm/10 min をこえる強いピークが目立っており、中村でも 2 時頃に 2 mm/10 min ぐらいの小さいピークがこれに対応している。さらに 4~5 時頃にも佐賀で 8 mm/10 min 中村で 5 mm/10 min ぐらいのピークが見られる。台風径路の右側の佐賀では外側のレインバンドによる降雨が著しく、左側では上陸直前の降雨が著しいのは地形の影響が現われているのではないと思われる。

これらの降雨ピークから推定すると、この台風は前面に中心から 40, 120, 200 km ぐらいのところに強いレインバンドを持っていたものと推定される。中村での風の観測値を見ると台風上陸前の 6 時頃に風速の最大が起っている。足摺では最低気圧発生時刻の約 2 時間半後に最大風速が現われている。これらのことから台風の内域の半径は 80 km ぐらいと推定される。すなわち上述の台風中心から数えて第 1 と第 2 のレインバンドの中間に位置するものと考えられる。

台風中心径路に近い足摺、佐賀、中村、津賀、船戸の 10 分間雨量変化の各ピークは大体追跡することが可能で、台風の進行速度と同じ速度で北上していることが知られる。このように台風中心径路付近では台風の構造が大体不変として説明出来るような降雨ピーク群を見出すことが出来るが、高知県中部より東ではそれほどはっきり認めることが出来ない。またこの台風では高知県内では進路の西側の雨域は東側の雨域にくらべて著しくせまく、宿毛の例でもみられるように進路にかなり近いところでも降雨強度は著しく弱い。

Fig. 7 には台風上陸約 7 時間前の 21 日 01 時 06 分と上陸直前の 07 時 47 分の室戸レーダーによるエコー写真をかかげる。レンジは 300 km で同心円は 50 km ごとに画かれている。中心の西側 100 km ぐらいの黒い部分は足摺岬から北にのびる山群、中心の北東方向の黒い部分は紀伊山地である。この写真に見られるエコー

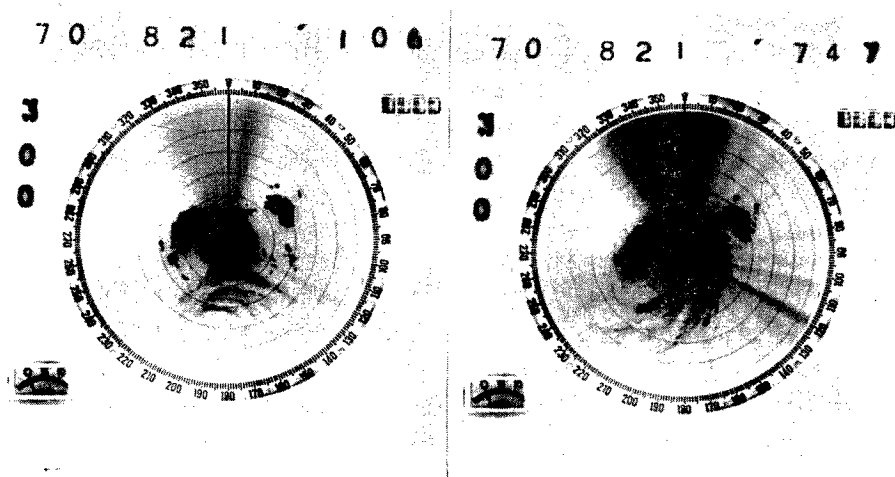


Fig. 7 Radar-echo patterns of Typhoon 7010 by Muroto Radar, at 01 h 06 m and 07 h 47 m 21 Aug. 1970.

はエコー強度がわからないため量的な解析はむづかしいが7時47分のエコーで一番外側のスパイラルが非常に強く見えるのは上述の中心から200 kmのスパイラルバンドに対応しているように思える。

4. 豪雨と災害

死者行方不明者1000名近くを出した1957年7月25日の長崎県を中心としたいわゆる諫早豪雨は日本の大雨史上記録的なものであった。島原半島北部では総雨量が1100 mmに達したといわれ、気象官署でも大村通報所では24時間雨量722 mmと日本の平地の気象官署での新記録をつくった。これは前線による大雨であるが、第1表の大村での20分間雨量表を見てもわかるように、大雨が約12時間もつづいたきわめて珍しい例であり、最盛期の20時20分から22時40分までの2時間ほどは20分間雨量30 mmをこえる大雨が降りつづいた。この頃から集中豪雨という言葉が次第によく使われるようになって来たが、以下に最近のいくつかの集中豪雨の例をあげて、特にその時間的な集中のピークと土砂災害の発生とに注目してみたいと思う。

Table 1 Time change of 20 minutes precipitation at Omura on 25 July 1957.

Time	Precipitation	Time	Precipitation	Time	Precipitation
11h40m~12h00m	8.0mm	16h00m~16h20m	12.5mm	20h20m~20h40m	42.0
~12h20m	15.0mm	~16h40m	9.5mm	~21h00m	38.5
~12h40m	12.0	~17h00m	5.5	~21h20m	38.5
~13h00m	18.5	~17h20m	30.0	~21h40m	51.0
~13h20m	20.0	~17h40m	20.5	~22h00m	38.5
~13h40m	21.5	~18h00m	5.5	~22h20m	29.0
~14h00m	9.0	~18h20m	0.5	~22h40m	33.0
~14h20m	20.5	~18h40m	1.0	~23h00m	24.0
~14h40m	15.5	~19h00m	7.0	~23h20m	21.0
~15h00m	32.0	~19h20m	5.0	~23h40m	1.0
~15h20m	25.5	~19h40m	19.0	~24h00m	2.0
~15h40m	29.0	~20h00m	13.5		
~16h00m	25.0	~20h20m	12.5		

まず1967年7月9日の梅雨前線による広島県呉と神戸の10分間雨量経過図を対比して **Fig. 8** に示す。呉でも神戸でも 20 mm/10 min に達する鋭い降雨強度ピークが見られる。いくつかの降雨ピークは西から東へ伝わる小さい気象じょう乱の結果に地形効果が加わったものとして説明出来るが、ここでは原因について詳しくは述べない。ただ呉地区も神戸の北側の六甲地区も地質的特性が崩壊災害を生じやすいためにこの鋭い降雨ピークに対応してそのような災害が発生したことを注目する。この降雨ピーク発生時刻と災害発生の同時性については事後の聞き取り調査でほぼ確められている。

次にあげる例は1966年の台風6626号による山梨県の富士山の北西側にある足和田村の災害である。この台風は上陸時の中心示度 960 mb であったが富士山の西側を時速 70~80 km という早い速度で北北東へ通り抜けた。**Fig. 9** は富士山の北側にある船津の 10 分間降水量の時間経過であるが、時間雨量で 65 mm/hr, 10 分間雨量は 25 mm/10 min という鋭い降雨強度を示している。この場合は台風の前面の日本の南岸に停滞前線があったが急速な台風の進行と共に短時間に押し上げられてしまった。また富士山の影響もあって降雨域は非常にせまく、また短時間に集中した。この場合には西湖周辺での土砂災害の発生時刻がかなり精確に知られており、「25日午前1時少し前頃より砂礫の流下する音がきこえ、1時10分ごろよりはんらんし始めその直後にこの大きな災害にいたった」という証言が得られている。これは **Fig. 9** の降雨強度の変化とよく対応している。

1968年8月11日立山連峯を中心として豪雨があり、数え切れないほど多くの場所で山腹崩壊が発生した。**Fig. 10** には立山砂防と仙人谷の2カ所での10分間降水量の時間経過を対比させて示してある。わずか 20 km ぐらいいかはなれていない両者の降雨経過がかなり異なっていることが注目される。この場合には集中豪雨域が移動し鋭い降雨のピークが場所によって異なった時刻に発生している。残念ながら山岳地方で災害発生時刻があまり詳しくわかっていない。

1971年7月18日兵庫県相生で起こった集中豪雨は地域的な集中性では非常に珍しいケースであり、この集中豪雨によって山腹崩壊などの事故が発生したが 100 km もはなれたところでは事故が発生したと想像するのもむづかしいぐらいであった。**Fig. 11** に見られるようにこの時には1時間ぐらいの周期でピークが現われているが、山腹崩壊の発生時刻の推定は16時頃のピークと大体一致している。

以上数個の例について降雨強度の鋭いピークと土石流や山腹崩壊との時間的対応について述べて来たが、過去の災害調査報告書を見ても事故発生時刻が正確に書いてあるものは少ない。また事故当時の新聞の切り抜きなどを収集してみると新聞によりまた情報提供者によって発生時刻の記述にかなりのばらつきがある。この点京都大学奥田教授が中心となりわれわれも参加した土石流観測グループでは土石流発生時刻が正確に記録されている。観測システムについては既にこの年報で発表されたが **Fig. 12** は1971年9月6日の現地焼岳上堀沢下流で測られた降雨記録に3回の土石流発生時刻を記入したものである。1時間雨量の解析ではこれほどきれいな対応があることは想像出来ない。今後さらにこのような資料が蓄積されていくと、土石流の

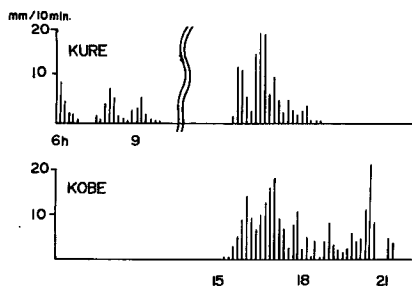


Fig. 8 Same as Fig. 1 but for Baiu on 9 July 1967. Kure and Kobe.

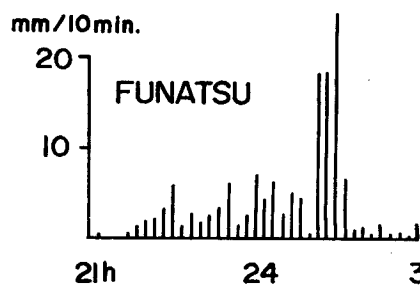


Fig. 9 Same as Fig. 1 but for Typhoon 6626 on 24-25 Sep. 1966. Funatsu.

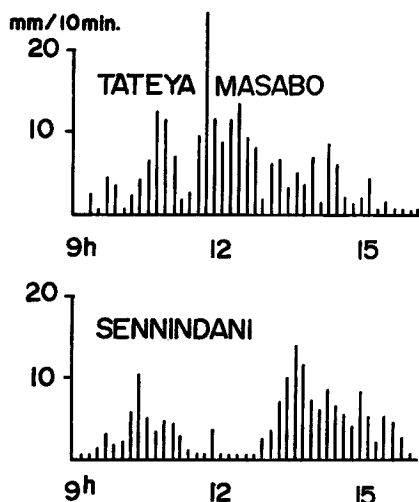


Fig. 10 Same as Fig. 1 but for heavy rainfalls on 11 Aug. 1968. Tateyama-sabo and Sennin-dani.

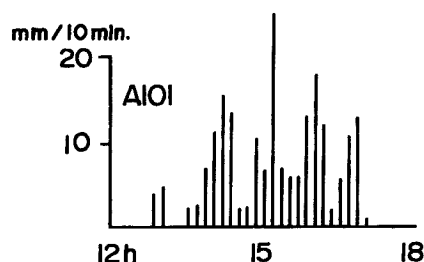


Fig. 11 Same as Fig. 1 but for heavy rainfalls at Aioi on 18 July 1971.

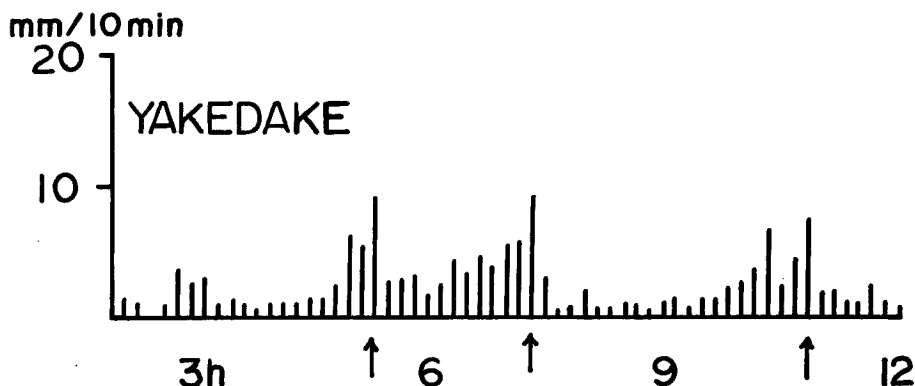


Fig. 12 Same as Fig. 1 but in the case of the occurrence of rocky-mud-flow in Kamihorizawa at the foot of Yake mountain. Arrows indicate the time of the occurrence.

発生メカニズムや、一たん発生した後どのぐらいで次の土石流の発生条件が準備され得るかが解明されるものと思われる。また土石流発生の予知の問題にもつながり、気象学的にどのようなスケールの降雨現象がどのような災害に結びつくかも明らかにされて来るであろう。

参 考 文 献

- 1) 中島暢太郎・後町幸雄・萩本洋：豪雨の研究 (1)，京都大学防災研究所年報，第 12 号 (B) 昭和 44. 3, pp. 185-199.
- 2) 中島暢太郎：昭和 42 年 8 月羽越水害の気象特性，羽越水害の総合的研究 (文部省特定研究報告) 昭和 43. 3, pp. 15-23.
- 3) 中島暢太郎・後町幸雄：昭和 42 年 7 月豪雨の気象特性，昭和 42 年 7 月豪雨による災害の総合的実態的研究 (文部省特定研究報告) 昭和 43. 3, pp. 1-10.

- 4) 中島暢太郎：台風 10 号の降雨解析，昭和 45 年度台風 10 号による災害の実態と防災に関する研究（文部省特定研究報告）昭和 46. 3，pp. 128-132.
- 5) 矢野勝正他：西湖周辺における土砂流出に関する研究，台風 26 号による災害の実態調査報告書（文部省特定研究報告）昭和 42. 3，pp. 1-14.
- 6) 京都大学防災研究所富山地区災害調査グループ，富山地区災害調査，昭和 44 年 8 月水災害の総合的調査研究報告（文部省特定研究報告）昭和 45. 3，pp. 40-94.
- 7) 福岡管区气象台，昭和 32 年梅雨期における九州地方の大雨概報，昭和 32. 8.
- 8) 奥田節夫他：土石流の研究，地学雑誌 81 巻，3 号，昭和 47. 8.