

## ハイエットグラフを利用した短時間雨量予測の試み\*

塩月善晴\*\*

## 要旨

前報(塩月, 1986)ではいま降っている雨が豪雨性のものであるのか, そうであればこの雨のもつ短時間最大雨量はどれくらいかを, 10分雨量データの推移にもとづいて推定した. 豪雨の判断はできても, 判断した時点以降どれくらいの雨量がもたらされるかについては宿題であった. 本報ではハイエットグラフを導入して今後雨量の予測について検討したことを報告する. 情報として, 降雨開始から予測時点までの10分雨量データのみを利用するので, ピーク雨量強度およびその発生時刻の予測はできない. したがって実際のピーク発生時以前の予測では量的には著しく過少となるが, 降雨のピーク時付近でこの降雨の検知した豪雨レベルが最高になった時点での予測はほぼ満足すべきものである. また今回の方法による豪雨レベル検知は, 前報でいくつかのケースで見られた過大評価もなくなり, 豪雨検知の信頼度を高めた.

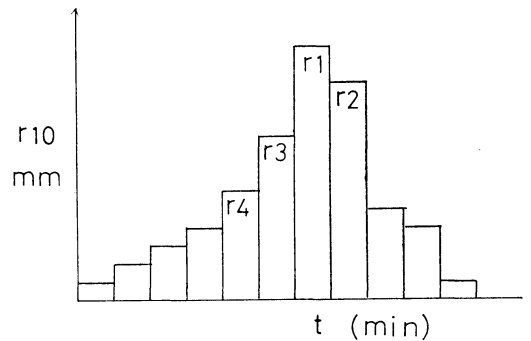
## 1. まえがき

10分雨量データがもっている情報の防災への利用について検討をつづけている. 極値雨量強度曲線( $R_T$  曲線)から, 雨滴粒度分布( $N_D$ )への変換作業を行った(塩月, 1981, 1985).  $N_D$ から計算される雨滴群の空間含水量( $M_{10}$ )を利用して, 豪雨の検知とその雨のもつ可能最大短時間雨量の推定を行った(塩月, 1986).  $R_T$  曲線のパラメータの時間的振舞を手がかりにした土砂災害の発生予知について検討した(塩月, 他, 1987). 本論では  $R_T$  曲線からハイエットグラフを作成し, 今後1~3時間の降雨量の短時間予測を行う方法を紹介し, 長崎豪雨での予測作業に適用した結果を述べる. 作業に必要な情報は降り始めから予測時点までの10分雨量データのみである.

## 2. 方法

2.1  $R_T$  曲線

一雨の降り始めからの10分雨量の時間変化が第1図の通りであったとする.  $r_1$  がピーク10分雨量であり, そ

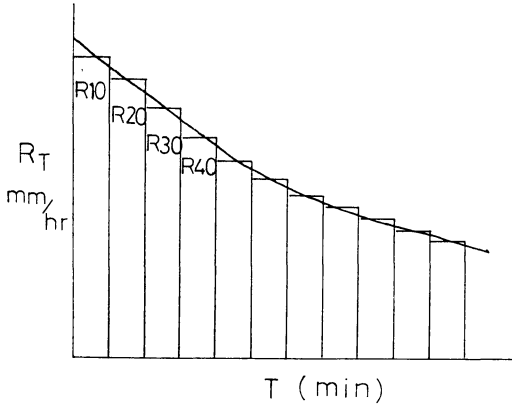


第1図 観測10分雨量

の前後に大きさ順に2, 3, 4番目の10分雨量がもたらされたとする. 一雨での最大10分雨量( $R_{10}$ )は  $r_1$  mm となり, 最大20分雨量( $R_{20}$ )は  $(r_1+r_2)$  mm, 最大30分雨量( $R_{30}$ )は  $(r_1+r_2+r_3)$  mm, 最大40分雨量( $R_{40}$ )は  $(r_1+r_2+r_3+r_4)$  mm となる. それぞれを雨量強度値(mm/hr)になおし, 横軸に降雨継続時間  $T$  (min)をとって,  $R_{10}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{30}$ ,  $R_{40}$  と並びかえたのが第2図であり極値雨量強度曲線( $R_T$  曲線)と呼ばれている. 筆者は  $R_T$  曲線が降雨の物理的特性をも含んでいると考え,  $R_T$  曲線のパラメータより降雨の  $N_D$  分布を再現する方法を提案した(1985). また,  $N_D$  分布より計算

\* An attempt of rainfall amounts nowcast by use of a hyetograph.

\*\* Yoshiharu Shiotsuki, 山口大学工業短期大学部.  
—1988年5月23日受領—  
—1989年5月12日受理—



第2図 R<sub>T</sub> 曲線

される, R<sub>10</sub> を構成した空間にある雨滴群の質量の総和(含水量) M<sub>10</sub> を利用し, 豪雨の検知, 可能最大短時間雨量の推定を行った(1986). 以上の作業では, 過去1時間内の6個の10分雨量データにより, R<sub>T</sub> 曲線の一つの型であるタルボット式(Talbot, 1891)に回帰させたものを使用している. 1982年長崎豪雨の解析ではタルボット式が広範囲で適合度がよかった(1987). また後述のように本論の作業でも M<sub>10</sub> を使用することになるので, 本論でも R<sub>T</sub> 曲線式としてタルボット式を採用する.

$$R_T = \frac{a}{T+b} \quad (1)$$

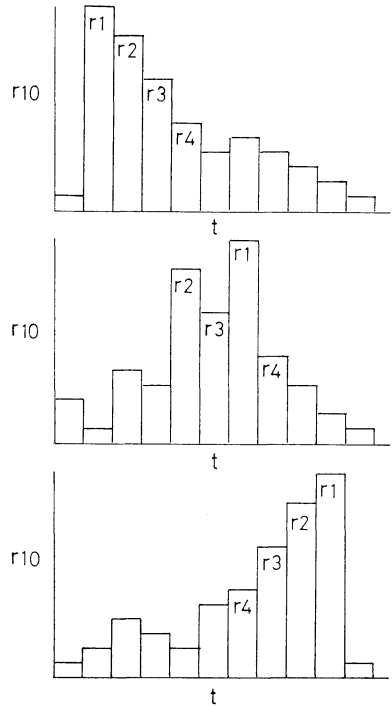
(R<sub>T</sub>: mm/hr, T: min, a, b はパラメータ)

2.2 ハイトグラフ

(1) 式より第1図の r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, …, r<sub>4</sub> に相当する10分雨量の大きさ順の値(mm 単位)は次式で再現できる. 但し n は自然数.

$$\begin{aligned} r(n) &= \frac{n \times 10}{60} R_{n \times 10} - \frac{(n \times 10 - 10)}{60} R_{(n \times 10 - 10)} \\ &= \frac{n \times 10}{60} \frac{a}{(n \times 10) + b} \\ &\quad - \frac{(n \times 10 - 10)}{60} \times \frac{a}{(n \times 10 - 10) + b} \quad (2) \end{aligned}$$

R<sub>T</sub> 曲線から直接得られるものはここまでで, r(1), r(2), …, r(4), …が第1図の r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, …, r<sub>4</sub> のように, どのように配列されているかは判らない. 第3図はこれを示したもので, 配列には種々のものがある. しかし, ピークの発生時点, 降り始めから任意時点までの雨量データがあれば, 降雨全体の時間的な変化曲線を推定することができる. 再現された第1図に相当するものはハイト



第3図 R<sub>T</sub> 曲線から再現されるハイトグラフの例

トグラフ(連続降雨曲線)と呼ばれている. ハイトグラフの詳しい作成方法については水文学の教科書(例えば岩井・石黒, 1970)を参照されたい. ここでは R<sub>T</sub> 曲線のパラメータ a, b, ピーク発生位置が判っている時の計算式だけを紹介するにとどめる.

第4図aのように, 降雨開始時刻を t<sub>0</sub>, 降雨終了時刻を t<sub>e</sub>, ピーク発生時刻を t<sub>p</sub> とする.

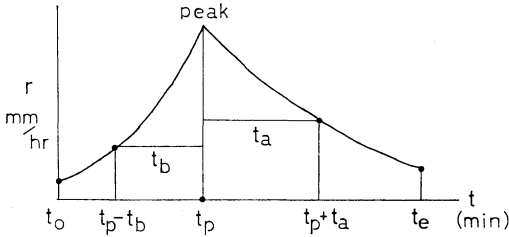
$$m = \frac{t_p - t_0}{t_e - t_0} \quad (3)$$

とおく. ピーク時から t<sub>b</sub> 分以前の時刻 t<sub>p</sub> - t<sub>b</sub> における雨量強度を r(t<sub>p</sub> - t<sub>b</sub>) とする. ピーク時から t<sub>a</sub> 分以降の時刻 t<sub>p</sub> + t<sub>a</sub> における雨量強度 r(t<sub>p</sub> + t<sub>a</sub>) とする. いま(1)式を使って(2)式を一般化すると次のようになる. ピーク雨量時を中心とした前後 T 分 ~ T + dT 分の間の降雨強度は

$$r(T) = \frac{d}{dT} (T \cdot R_T) = \frac{ab}{(T+b)^2} \quad (2)'$$

となる. T のかわりに(3)式を使うと,

$$r(t_p - t_b) = \frac{ab}{\{(t_b/m) + b\}^2} \quad (4)$$



第4図a 本文参照

$$r(t_p + t_a) = \frac{ab}{\{t_a/(1-m) + b\}^2} \quad (5)$$

となる。(4)はピーク時を原点として、 $t_b$ 分さかのぼった時点での雨量強度値、(5)は $t_a$ 分経過した時点での雨量強度値を与える。(4)、(5)を積分すると、第4図bのようにピーク時から $t_{b2}$ 、 $t_{b1}$ 分さかのぼった時点間の積算雨量 $r|_{t_{b1}}^{t_{b2}}$ 、ピーク時から $t_{a1}$ 、 $t_{a2}$ 分経過した時点間の積算雨量 $r|_{t_{a1}}^{t_{a2}}$ はそれぞれ、

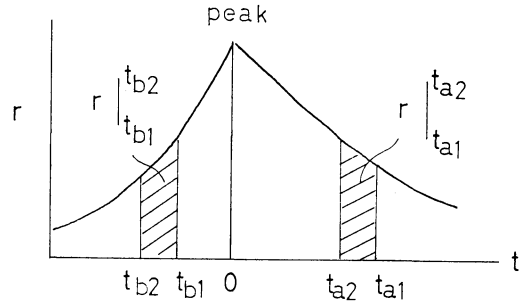
$$r|_{t_{b1}}^{t_{b2}} = abm^2 \left( \frac{1}{t_{b1} + bm} - \frac{1}{t_{b2} + bm} \right) \quad (6)$$

$$r|_{t_{a1}}^{t_{a2}} = ab(1-m)^2 \left\{ \left( \frac{1}{t_{a1} + b(1-m)} - \frac{1}{t_{a2} + b(1-m)} \right) \right\} \quad (7)$$

で表わされる。 $m$ でピーク発生位置を与え、 $t_{b2} - t_{b1} = t_{a2} - t_{a1} = 10$ 分ととれば、 $R_T$ 曲線のパラメータ $a$ 、 $b$ より10分雨量のハイトグラフを作成することができる。

### 2.3 ハイトグラフによる今後雨量の予測

本論は、一雨の降り始めからある時点 $t_1$ までの10分雨量のデータから一雨全体の $R_T$ 曲線およびピーク出現時刻を仮定し、一雨のハイトグラフを描いて、時刻 $t_1$ 以後の短時間雨量を予測しようとするものである。気象レーダ、気象衛星を持っている今日では、ピーク雨量、ピーク出現時刻、降雨継続時間、空間含水量などある程度推定できるので、ハイトグラフによる短時間雨量予測は方法的に可能である。本論では、降り始めからの10分雨量以外の情報は使わずに、ハイトグラフによる予測法がどの程度の可能性をもつものなのかをおさえておこうとするものである。以下のようなハイトグラフによる予測手順を設定した。なお作業ででてくる“豪雨階級”は越智(1973)に従うものである。



第4図b 本文参照

## 3. 予測手順

### 3.1 予測時点における降雨特性の把握

- ① 予測時点( $t_1$ )以前の過去1時間内6個の10分雨量( $r_{10}(t)$ )より $R_T$ 曲線の $a$ 、 $b$ 値を決める。
- ② ( $a$ 、 $b$ )より可能最大10分雨量( $R_{10}$ )をもたらず可能最大含水量( $M_{10}$ )を算出する。
- ③  $M_{10}$ より $b=270$ を使って、この雨のもつ可能最大1、3時間雨量( $R_{1H}$ 、 $R_{3H}$ )を推定する。  
以上の詳細は前報(1986)を御参照頂きたい。
- ④ 降雨開始から予測時点までの全10分雨量データによる $R_T$ 曲線のパラメータ( $aT$ 、 $bT$ )を別に求めておく。 $(aT)$ 、 $(bT)$ による可能最大含水量( $M_{10T}$ )を算出しておく。
- ⑤ ( $a$ 、 $b$ )、( $aT$ 、 $bT$ )で決まる極値雨量強度値と実際値との相関係数をそれぞれ $r$ 、 $rT$ とする。
- ⑥  $M_{10}$ 、 $M_{10T}$ を比較して大きい方を $MAXM_{10}$ とする。

### 3.2 降雨継続時間(DR)の設定

既報(1985)の(1)式で示したように、降雨の寿命時間は $R_T$ 曲線のパラメータ $a$ 、 $b$ の積に大きく依存している。本論(1)式の $R_T$ と $T$ との積をについて微分すると、降雨継続時間 $T$ 分 $\sim(T+dT)$ 分の間の $dT$ 分間における雨量強度値が得られる。

$$\frac{d(R_T \cdot T)}{dT} = \frac{ab}{(T+b)^2} \quad (8)$$

いま $T=DR$ (分)において、雨量強度値が $10 \text{ mm/hr}$ 、即ち10分雨量で $1.67 \text{ mm}$ 程度になったとき、降雨が終了したとすれば、(8)式は

$$\frac{ab}{(DR+b)^2} = 10$$

となり、これより

$$DR = \sqrt{\frac{ab}{10}} - b, \min \quad (9)$$

が得られる。

なお (aT, bT) による DR 値も計算しておき、より大きな DR 値を降雨継続時間とした。通常の一雨の降雨時間を想定して、DR が 150 分未満のときは DR=150, 700 分を超えるときは DR=700 とした。

### 3.3 予測時点における一雨全体の $R_T$ 曲線、ならびにハイトグラフの推定

一雨全体の  $R_T = \frac{a'}{T+b'}$  曲線のパラメータのうち、まず  $b'$  を先に決定する。

#### ① M10 が $6 \text{ g/m}^3$ 以上のとき (判定記号 WW=1,000);

前報の長崎豪雨の解析では 10 分毎の (a, b) 値より求まる M10 は、豪雨階級が A, B などの高レベルに入るときは  $6 \text{ g/m}^3$  を超えていた。前報第 2 図に示すように、M10 が  $7 \text{ g/m}^3$  程度では b 値が 100 前後でも雨滴の成長によって豪雨階級 A に達することができる。従って、一般に M10 値が大きくなれば、前報で採用した豪雨の平均値  $b=270$  より小さな値でもよいとした。こうすることにより非現実的な過大の予測雨量がでてくるのを防ぐことができる。

いま、最大 3 時間雨量が 300 mm 程度を考えると、

$$R_{T=180} = \frac{a}{180+b} \times 3 \leq 300 \quad (10)$$

また、雨滴の成長にとまらう (a, b) 値と M10 の関係を示す前報 (1) 式より

$$a = 26(8+b) \times (M10)^{1.040} \quad (11)$$

(10), (11) 式より

$$b \leq \frac{692-8 \times (M10)^{1.040}}{(M10)^{1.040}-3.846} \quad (12)$$

となり、b 値の最大値が決定できる。本論では M10 が  $6 \text{ g/m}^3$  を超えたとき、一雨全体の推定  $b'$  値は (12) 式の最大値を用いた。

#### ② M10 が $6 \text{ g/m}^3$ 未満のとき (判定記号 WW=1); (9) 式より

$$a = \frac{10 \times (DR+b)^2}{b} \quad (13)$$

が得られる。降雨継続時間 (DR) の間に M10 が保存の状態では雨滴が成長したと考えると、(11), (13) 式より

$$b = \frac{DR-4c + \sqrt{(4c-DR)^2 + 4(c-1) \times (DR)^2}}{c-1} \quad (14)$$

(但し、 $c = 2.6 \times (M10)^{1.040}$ )

となる。M10 が  $6 \text{ g/m}^3$  未満のときは (14) 式で決まる b 値を一雨全体の推定  $b'$  値とした。

③ なお、①, ②における M10 は 3.1, ⑥で述べた MAXM10 をあてる。実際には M10 と M10T ではそれ程差があるわけではないが、大きな方とて、上空には一応これだけの含水量が用意されたことを MAXM10 で示した。②の場合で DR が 240 分 (4 時間) 未満では短時間降雨とみなし、 $b' > bT$  でも  $b'$  は bT で与え、短時間で終わってしまう降雨の予測雨量過大を防いだ。また、短時間降雨で雨量変動が大きいつきは (a, b), (aT, bT) を求めたときの相関係数 r, rT は悪化するので、 $DR > 240$  でも r, rT の絶対値が 0.85 より小さくなったときは短時間降雨とみなし  $b'=bT$  とした。以上の判定記号は WW=1,000 のとき WW=1,010, WW=1 のときは WW=20 とする。但し、前報 (塩月, 1986) 第 3 図で示したように R3/R1 (最大 3 時間雨量/最大 1 時間雨量) 比が 1.8 ( $b_{\max}=120$  に相当) を下まわるケースは少ないので、 $b'=bT$  とおいたときで R3/R1 比が 1.7 のときの  $b_{\max}=97$  より bT が小さいときは  $b'=97$  とした。

#### ④ $a'$ の決定;

上で決めた  $b'$  を (11) 式に与えれば、一雨全体の推定  $a'$  が得られる。

#### ⑤ ピーク 10 分雨量 (MAXR10) の設定;

( $a'$ ,  $b'$ ) 値より

$$\text{MAXR10} = \frac{a'}{10+b'} \times \frac{1}{6} \quad (15)$$

で与える。

#### ⑥ MAXR10 の出現時刻 ( $t_p$ ) の設定;

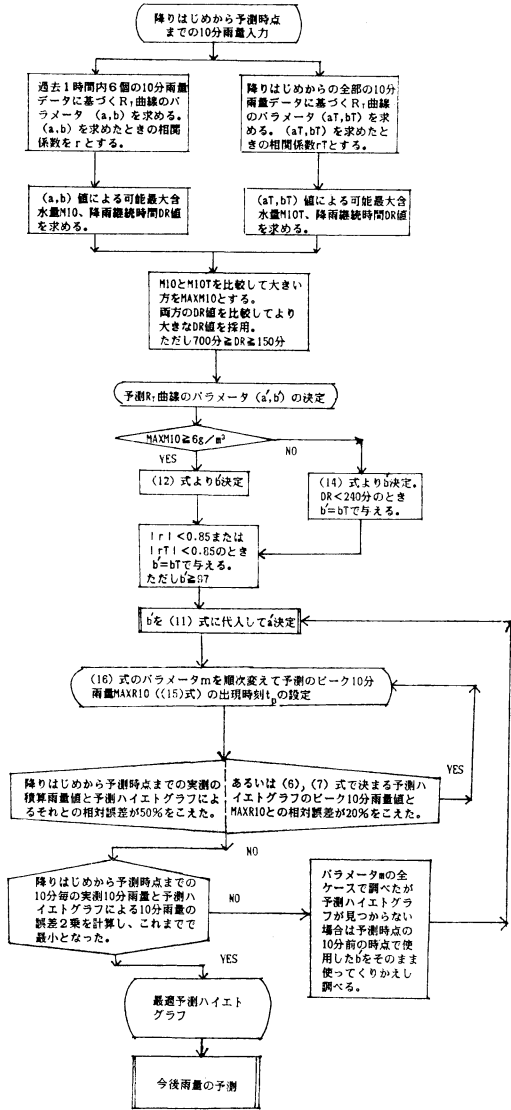
過去の 10 分雨量データのみにもとづく本報告の解析では  $t_p$  の推定は不可能である。(3) 式において  $t_0=0$ ,  $t_e-t_0=DR$  とおけば

$$t_p = m \times DR \quad (16)$$

となり、m 値をいろいろ変えて見て結果的に次の⑦で求まる最適ハイトグラフの際の  $t_p$  が設定されるものとなる。m 値は 0.0125 から 0.025 おきに 0.9875 までの 40 段階で与えた。

#### ⑦ 最適ハイトグラフの判定;

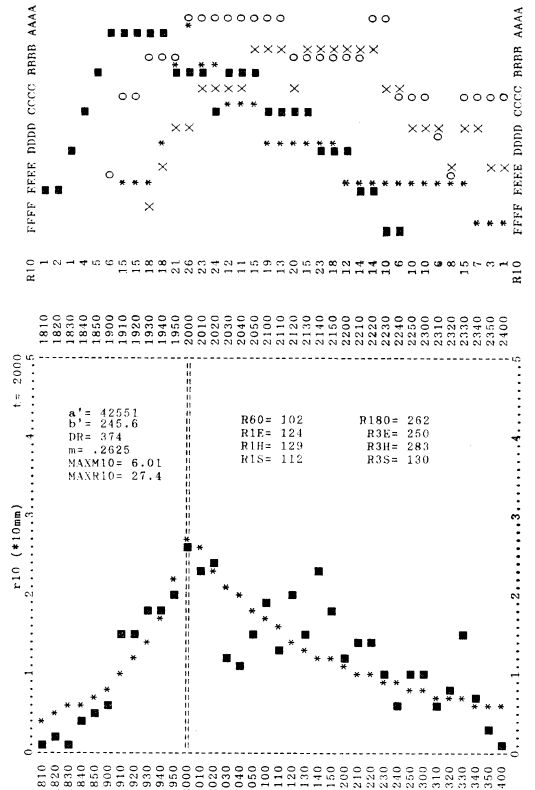
まず、降雨開始から予測時点までの積算雨量 RS とハイトグラフによるそれとの相対誤差が 50% を超えるものを取り除く。またハイトグラフのピーク 10 分雨量が MAXR10 との相対誤差  $\pm 20\%$  を超えるものは除外する。次に、予想ハイトグラフは降り始めから予測時点



第5図 フローチャート

までの雨量データについても適合するものでなければならぬので、降雨開始から予測時点までの各10分雨量の実際値  $r_{10}$  とハイレートグラフによる推定10分雨量  $r_{10E}$  との誤差2乗  $\sum_{t=t_0}^{t_1} (r_{10}(t) - r_{10E}(t))^2$  が最小となったものを最適ハイレートグラフとした。

⑤ 以上の手順で最適ハイレートグラフがでなかったときは、一般に  $b'$  は降雨時間が長くなると大きくなるのが普通であるので、予測時点の10分前の時点での  $b'$  をそのまま使用することにした(判定記号  $WW=1,000$  の



第6図 1982年7月23日長崎海洋気象台における予測結果。下段は20hにおける予測(■印は実測,\*印は予測ハイレートグラフの10分雨量)。図内の数値は20hの予測に使われたパラメータ,またR60~R3Sも20hのもの。上段は降雨終了時までの各10分毎の豪雨レベル表示。■印は実測(R60,R180)によるもの,\*印は各時点での予測ハイレートグラフによる(R1E,R3E)もの。○印は(R1H,R3H),×印は(R1S,R3S)によるもの。

とき  $WW=1,020$ ,  $WW=1$  のとき  $WW=10$ ).

更に⑦の条件にふれて適正ハイレートグラフがでないときは、同じく10分前の  $b'$  を(11)式に与えて計算される  $a'$  を採用した( $WW=3,000$ ). 以上の手順の流れ図を第5図に示した。

#### 4. 予測作業例

前報と同じく長崎降雨時の長崎県下23地点を作業の対象とした。豪雨階級Aクラスに入ったもの3例(長崎海洋気象台,幸物分校,長与駅保線区)と前報の解析で成

第1表 1982年7月23日長崎海洋気象台における10分毎の予測作業結果一覧。各項目は本文参照。

TIME	r10	R1S	R3S	aT	bT	×10 <sup>-3</sup>			×10 <sup>-3</sup>			×10 <sup>-2</sup>			×10 <sup>-3</sup>			R1E	R3E	R60	R180	R1H	R3H		
					rT	a	b	r	MAXM10	DR	m	w	a'	b'											
1810	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	244	0	0
1820	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	262	0	0
1830	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	276	0	0
1840	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	294	0	0
1850	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	307	0	0
1900	6	19	19	1897	40	-962	1897	40	-962	148	150	388	20	4117	97	19	29	112	313	33	73				
1910	15	33	34	2534	19	-990	2524	19	-988	347	150	188	20	9964	97	53	87	119	312	80	176				
1920	15	46	49	4115	30	-918	4372	33	-896	398	150	313	20	11491	97	56	88	128	310	90	198				
1930	18	62	66	6025	40	-908	7338	55	-907	453	150	413	20	13147	97	58	88	122	302	99	218				
1940	18	76	84	8274	54	-872	12201	94	-870	480	245	338	1	21799	156	82	143	114	290	101	221				
1950	21	92	105	10854	67	-892	19796	149	-957	519	394	263	1	35961	242	106	213	109	279	106	234				
2000	26	112	130	13419	72	-938	20070	124	-985	601	374	263	1000	42551	246	124	250	102	263	129	283				
2010	23	119	153	16726	90	-926	26912	166	-999	613	503	288	1000	41289	233	112	224	93	246	130	286				
2020	24	128	176	20476	110	-905	39313	248	-983	621	700	288	3000	41845	233	103	210	89	231	130	285				
2030	22	122	188	22018	120	-921	31503	194	-951	621	587	288	1060	40535	225	93	189	92	234	132	290				
2040	11	114	198	23254	129	-936	22328	131	-917	621	419	313	1000	40535	225	83	171	104	230	136	298				
2050	15	109	213	25719	147	-935	16494	93	-938	621	468	313	1000	40535	225	76	158	107	218	137	302				
2100	19	102	232	29393	174	-968	12864	78	-884	621	541	313	1000	40535	225	70	147	100	200	126	277				
2110	13	93	244	31282	188	-972	9066	56	-683	621	579	313	10	40535	225	65	137	100	187	120	264				
2120	20	89	262	35161	216	-973	16107	126	-855	621	656	313	1000	40535	225	60	129	94	167	101	223				
2130	15	92	276	37449	233	-971	17015	134	-799	621	700	288	10	40535	225	57	125	89	153	101	222				
2140	23	104	294	41933	267	-961	18190	128	-800	621	700	288	10	40535	225	54	118	72	130	113	248				
2150	18	107	307	45004	289	-950	20141	142	-862	621	700	263	1020	40535	225	52	115	64	113	113	249				
2200	12	100	313	46500	301	-946	18496	130	-930	621	700	263	1020	40535	225	49	109	61	101	113	249				
2210	14	100	312	48579	316	-943	18402	129	-931	621	700	263	1020	40535	225	46	103	54	87	113	249				
2220	14	94	310	50541	331	-940	13860	95	-971	621	700	263	1020	40535	225	43	98	48	74	114	251				
2230	10	89	302	51466	338	-941	12255	82	-971	621	700	263	1020	40535	225	41	93	54	64	114	252				
2240	6	72	290	51351	337	-943	11903	106	-929	621	700	263	1020	40535	225	38	88	55	59	88	194				
2250	10	64	279	52093	343	-947	11932	129	-919	621	700	263	1020	40535	225	36	84	48	49	73	162				
2300	10	61	263	52813	348	-950	9275	99	-920	621	700	263	1020	40535	225	34	80	40	40	73	160				
2310	6	51	246	52799	348	-953	6701	75	-866	621	700	263	1020	40535	225	33	76	34	34	68	150				
2320	8	48	231	53152	351	-955	9834	158	-877	621	700	263	1020	40535	225	31	73	26	26	50	110				
2330	15	54	234	54771	364	-959	5577	55	-834	621	700	238	10	40535	225	31	73	11	11	75	165				
2340	7	55	230	54938	366	-961	5157	49	-818	621	700	238	10	40535	225	29	70	4	4	76	166				
2350	3	48	218	54561	362	-962	4782	45	-912	621	700	263	1020	40535	225	27	64	1	1	75	166				
2400	1	40	200	53913	357	-962	3688	32	-985	621	700	288	1020	40535	225	25	59	0	0	79	173				

績が悪かった4地点(大村空港, 松浦, 大瀬戸, 平戸)の結果を例として示す。

4.1 長崎海洋気象台

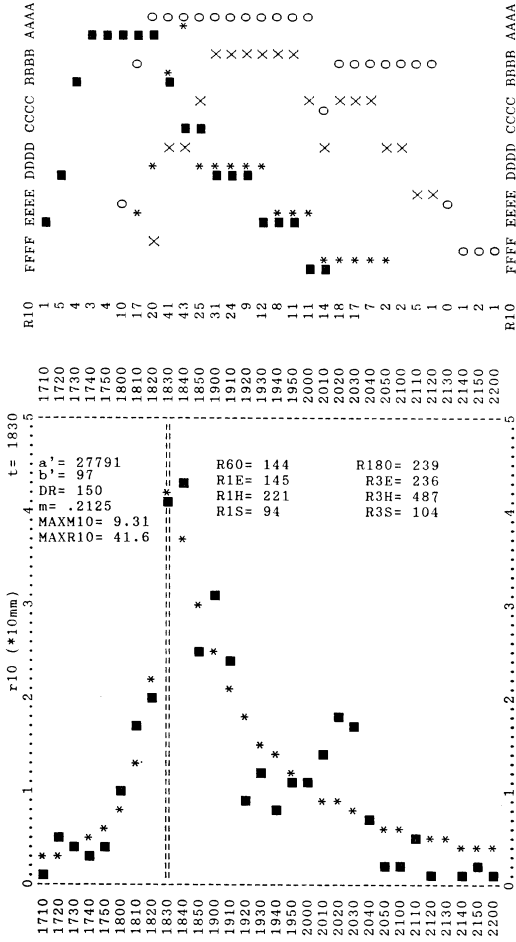
第6図の下段は20<sup>h</sup>における予想ハイトグラフ(\*印)を示す。■印は実測の10分雨量(r10)である。図中にハイトグラフを決めたパラメータ, 20<sup>h</sup>10以後の実際の1時間雨量(R60, mm単位), 3時間雨量R180, ハイトグラフによる予測1, 3時間雨量(R1E, R3E), 前報のb=270としたとき一雨の予想最大1, 3時間雨量(R1H, R3H), 実測の過去1, 3時間雨量(R1S, R3S)を示している。(R1H, R3H)は前報の豪雨のレベル検知に使われており, M10の増大に伴って過大雨量を示しがちであったので比較のためあげている。(R1S, R3S)は通常の外挿による雨量予測を行った場合の比較をするために示した。第6図の上段は降雨開始から終了までの10分毎の(R60, R180, ■印), (R1E, R3E, \*印), (R1H, R3H, ○印), (R1S, R3S, ×印)による豪雨階級を示した。(R60, R180)以外は降雨開始から1時間経過してはじめて得られる。下段のハイトグラフは, 20<sup>h</sup>30頃の減少時, 21<sup>h</sup>40の増大時を相殺するかどうかで降雨終了の24<sup>h</sup>までの降雨時系列をよく表現しているといえる。(R60, R180), (R1E, R3E)の値を見てもよくあっている。上段の豪雨階級の変化では, 実際の豪雨階級は19<sup>h</sup>でA段階の始点であるのに対し, (R1H, R3H)による予想は19<sup>h</sup>30にBに到

達している。ハイトグラフによる予測はピーク雨量時となった20<sup>h</sup>にAの予測をしている。(R1S, R3S)による判定は20<sup>h</sup>50にAに達している。このようにまず(R1H, R3H)の予想が現実の状況に追いつき, 次に(R1E, R3E)の予測, 最後に実測の積算による(R1S, R3S)の判定ができるのが普通である。一方, ピーク雨量到達後の降雨衰弱期では, (R1E, R3E)による豪雨階級予測は実際の(R60, R180)による豪雨レベルとほぼ同じテンポで低減して行くが, (R1H, R3H), (R1S, R3S)の豪雨レベルは降雨終了まじかまで高いレベルのままである。(R1E, R3E)による予測は降雨終了時でも一番低いレベルFが残ったが, (R1H, R3H), (R1S, R3S)によるものはそれぞれもっと高いレベルのC, Eのままである。

参考のため長崎海洋気象台についてのみ10分毎の予測手順での重要なパラメータと結果についての一覧を第1表に示す。

4.2 幸物分校(第7図)

18<sup>h</sup>30, 18<sup>h</sup>40に40mmを超えていて, 20<sup>h</sup>20にもう一つの小さなピークがあるが, 全体として一つ山の豪雨である。ピークの18<sup>h</sup>40に(R1E, R3E)はA階級に入った。それ以後の豪雨階級低下は現実のもの(■印)に近い。(R1H, R3H), (R1S, R3S)による豪雨表示は4.1と同じく降雨終了まじかまで高レベルの表示となっている。18<sup>h</sup>30でのハイトグラフによる雨量予測は図

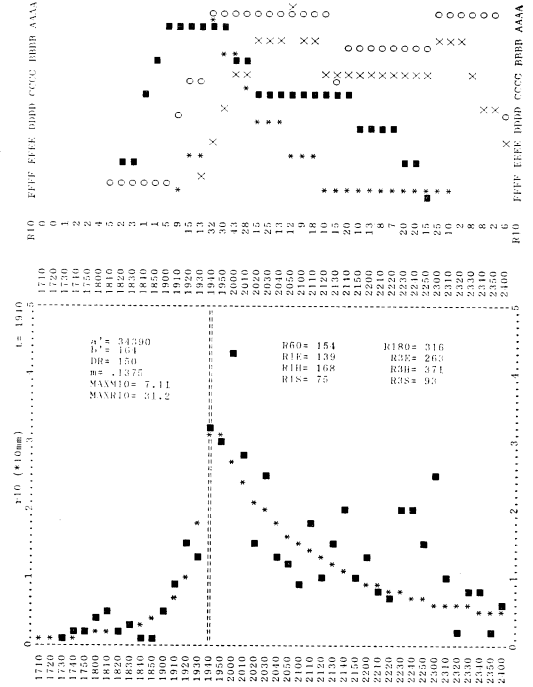


第7図 幸物分校 (下段の予測時点は 18<sup>h</sup>30)

に示したようによく合っている。

4.3 長与駅保線区 (第8図)

降雨開始から 22<sup>h</sup>20 までの降雨パターンは 4.2 によく似ていて、予測 (R1E, R3E) による豪雨表示の時間変化も 4.2 によく似ている。22<sup>h</sup>30~23<sup>h</sup>10 のもう一つのピークの存在の影響は大きく、実際の (R60, R180) による豪雨表示は 20<sup>h</sup>20~21<sup>h</sup>40 で C であるのに対し、(R1E, R3E) による表示は急速に低下している。このように降雨終了まじかでもう一つのピークがあるときは、単一の山のハイトグラフで予測している本方法の弱点といえる。但し F 階級の豪雨表示が消えるのは実際も予測も 23<sup>h</sup>頃に対し、(R1H, R3H), (R1S, R3S) によるものは終了時まで高レベルの表示となっている。ピーク直前の 19<sup>h</sup>40 でのハイトグラフによる雨量予測は図中に



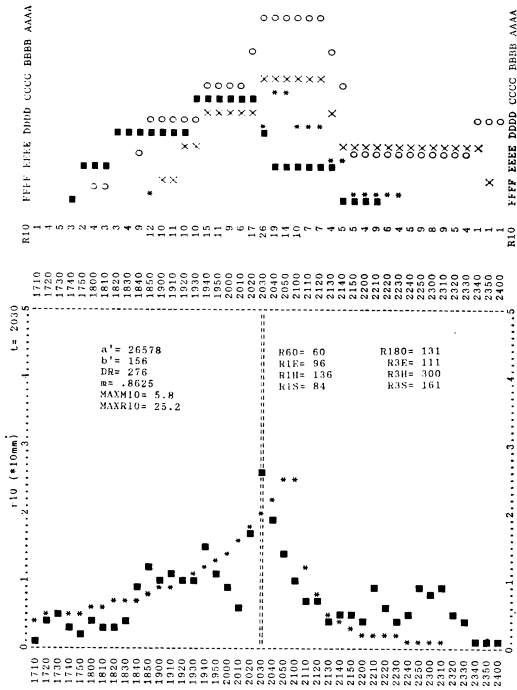
第8図 長与駅保線区 (19<sup>h</sup>40)

示したようによく合っている。

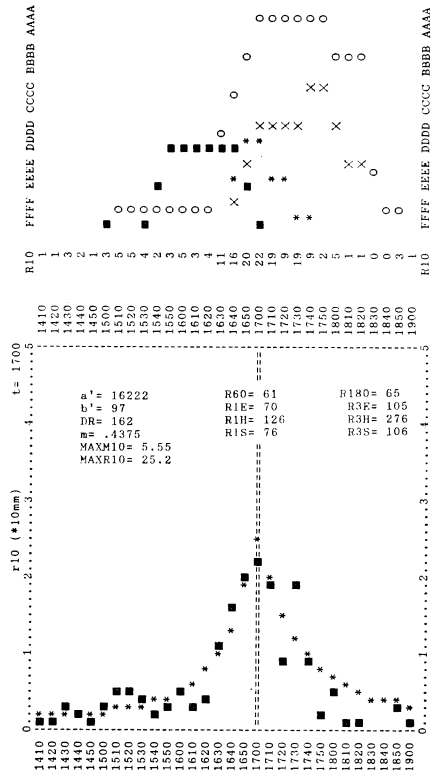
4.4 大村空港 (第9図)

前報の結果では大村空港、短時間降雨の平戸、松浦、大瀬戸で豪雨表示は過大評価となった。以下順に今回のハイトグラフの予測結果を示す。大村空港での降雨全体のピーク時は 20<sup>h</sup>30 である。図のように 18<sup>h</sup>50 に (R1E, R3E) による予測は一時 F 階級まで入ったが、その後 20<sup>h</sup>30 まで表示は消えた。これは 3.3 ③ で述べたように 20<sup>h</sup>10 までは DR が 240 分未満であること、20<sup>h</sup>20 では (a, b), (aT, bT) の相関係数 r, rT の絶対値がともに 0.85 より小さく短時間降雨であると判断したためである。ピーク時の 20<sup>h</sup>30 での予測 (R1E, R3E) は実際の (R60, R180) にかなり合っていて豪雨表示も同レベルである。以後豪雨レベルの推移は現実のものに近い。(R1H, R3H), (R1S, R3S) による豪雨表示は降雨終了時まで高レベルにある。

興味深いのは、20<sup>h</sup>30 の予測ハイトグラフでピーク発生時が予測時点より未来の 20<sup>h</sup>50~21<sup>h</sup>に見られ、以後実際のように予測 10 分雨量変化は急速に低減している。図に示したように DR=276 分で降雨時間は短く、m=0.8625 でピークは降雨終了まじかであると判定し



第9図 大村空港 (20:30)



第10図 平戸 (17:00)

ている。最適ハイトグラフは結果的にピークは更に20~30分後と出現すると予想したが、その後急速に降り止むものであると判定した。今回の方法ではピーク時決定、ピーク雨量設定は過去の雨量データのみ依存しているため、5章で述べるように殆どどのケースでもピーク時、ピーク雨量は過去最高の時点のものに近いものとなっている。もしレーダ等他の情報によりピーク時、ピーク雨量を現実に近いものでより早く設定できれば、20:30のように降雨全体のハイトグラフの早い時点での把握が可能であると思われる。

4.5 平戸 (第10図)

図に示すように (R1H, R3H) による豪雨検知は17:00にA段階に入ったが、今回の方法では16:50~17:00に実際と同じくD段階表示でとどまり、17:50には豪雨表示がなくなって短時間降雨であることを示している。ピークの17:00における予測値 (R1E, R3E) は少々過大評価となったが、ハイトグラフの姿は現実に近い。

4.6 松浦 (第11図)

平戸と同じくピーク時17:50での (R1E, R3E) の予測値は過大評価であるが、(R1H, R3H) がA階級に到達したのに対し、(R1E, R3E) はFどまりでこの雨の

もつ雨量がそれほど大きくはならないことを示している。ただし (R60, R180) の実際のD段階は降雨終了まで検出されなかった。降雨時間2時間20分、しかも20mmを超える10分雨量が降雨の終了まじかに生じたこのようなケースでは本方法は十分追従できないといえる。

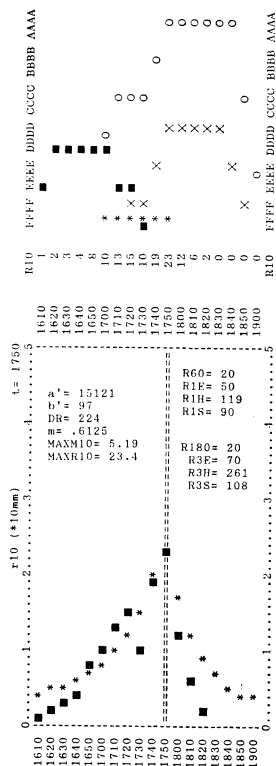
4.7 大瀬戸 (第12図)

4.5, 4.6とはことなり、短時間降雨でありながらピークが早く出現したためによく合った例である。ピークの18:10では (R1H, R3H) による豪雨表示はA段階で著しく過大評価となったが、(R1E, R3E) による表示は実際と同じD段階で、図に示したように予測雨量も実際値に近い。ハイトグラフもよく表現されている。19:50の (R1E, R3E) による豪雨表示消滅は実際のわずか10分後であり、(R1H, R3H), (R1S, R3S) による表示は降雨終了時まで高レベルのままである。

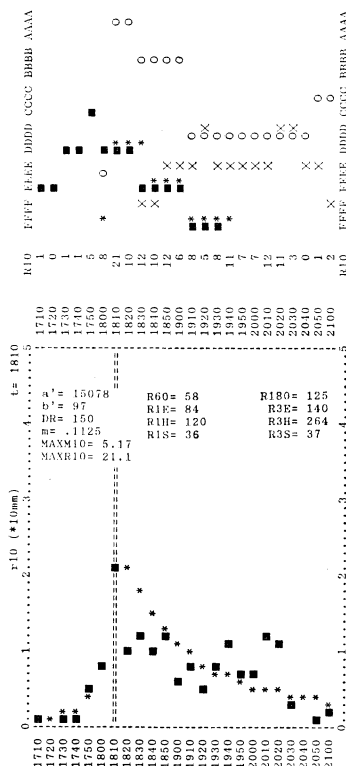
5. 結果

今回の方法は降雨開始から予測時点までの雨量データ





第11図 松浦 (17h50)



第12図 大瀬戸 (18h10)

だけで降雨全体のハイレートグラフを推定するものであり、3.3, ①, ②で述べたパラメータ  $b'$  の推定は過去雨量の  $R_T$  曲線から雨滴粒度分布変換によって得られる  $M10$  に大きく支配されている。前報で示した式、

$$M10 = \left( \frac{1}{26} \times \frac{a}{8+b} \right)^{0.9616}$$

での分母の8は  $R_T$  曲線での  $T=8$  分に相当していると考えられる。すなわち最大10分雨量をもたらす最大空間含水量  $M10$  は最大8分雨量に依存している。従って  $M10$  保存のまま  $DR$  時間内の雨滴成長によってより大きな  $(a', b')$  になったとしても、新しい  $(a', b')$  による最大8分雨量は変わらない。このことから予測最大10分雨量もそれほど大きなものとはならず、結果的に降雨開始から予測時点までに得られた最大10分雨量に近いものとなる。

このように本方法では現実に近いピーク時、ピーク雨量の早い時点での設定は不可能である。結局は新たに出現するより大きな10分雨量のもとに予測することにな

り、真のピーク以前では予測は過少評価となる。ただし4章作業例に示したように、ピーク以前に予測した豪雨階級は過少評価であっても間違いなく降雨は豪雨性のものであることを診断しており、防災上には役立つはずである。今回の方法の妥当性については実際のピーク雨量出現時附近とそれ以後の時点での予測結果に関して検討する。

### 5.1 ピーク時における予測結果

第2表は23地点のピーク時点における  $(R1E, R3E)$  と実際値  $(R60, R180)$  の一覧である。ピーク時より早い時点でピーク時の予測豪雨表示と同じものに到達した場合はその時点での結果を示している。第13図(a)は  $R1E$  対  $R60$ 、第13図(b)は  $R3E$  対  $R180$  を図で見たものである。予測雨量が小さくF階級に入らなかった国見山、ピークが一雨の後半部で生じた絹笠山では、図中に描かれた相対誤差30%の線からはみでた。一般的に、 $R60, R180$  が50mmを超えると  $R1E, R3E$  は相対誤差  $\pm 30\%$  に近い、かそれ以内におさまっている。

第2表 長崎豪雨時長崎県下23地点での予測作業結果一覧。t<sub>0</sub>; 降雨開始時刻。t<sub>e</sub>; 降雨終了時刻。t<sub>p</sub>; ピーク10分雨量出現時刻。t<sub>i</sub>; 予測時刻。RS; t<sub>0</sub>~t<sub>i</sub>迄の積算雨量。R60, R180; 時刻 t<sub>i</sub>, TX, TZ 以後の実際の1, 3時間雨量 (mm)。R1E, R3E; 同じく予測ハイレートグラフによる予測1, 3時間雨量。R3H; 時刻 t<sub>i</sub>, TX, TZ での可能最大3時間雨量。R3S; 同じく過去3時間雨量。TX; (R60, R180) による豪雨表示が消えた時刻。TZ; 降雨終了時刻。TX, TZ の欄の最下段の数値は各項の23地点全体の平均値。RST は一雨の総雨量, RSE は t<sub>i</sub> における RS と R3E の和。

	t <sub>0</sub>	t <sub>e</sub>	t <sub>p</sub>	t <sub>i</sub>	RS	R60	R1E	R180	R3E	RSE	RST	R3H	R3S	TX	R180	R3E	R3H	R3S	TZ	R3E	R3H	R3S
①平戸	1400	1900	1700	1650	84	79	65	87	101	185	171	248	84	1710	46	94	263	124	1900	2	31	141
②佐世保	1600	1900	1830	1800	58	35	21	35	28	86	92	128	58	1750	46	16	98	46	1900	3	166	92
③長崎	1800	2400	2000	2000	130	102	124	263	250	380	432	283	130	2250	49	84	162	279	2400	59	173	200
④野山	100	500	320	320	64	53	50	58	78	142	121	187	64	330	48	63	183	73	500	18	162	103
⑤下村	1700	2400	2030	2030	170	60	96	131	111	281	303	303	177	2220	45	55	101	181	2400	24	111	91
⑥松浦	1600	1900	1750	1720	56	72	46	72	69	125	128	181	56	1740	43	53	209	85	1830	1	299	128
⑦大瀬	1700	2100	1810	1810	37	58	84	125	140	177	162	264	37	1940	43	51	134	119	2100	3	170	146
⑧錦山	100	500	320	320	75	50	70	54	111	186	129	251	75	330	48	88	247	81	500	2	162	112
⑨島原	200	600	430	400	51	72	40	78	61	112	129	155	51	430	31	68	219	98	600	1	66	117
⑩口津	2200	200	30	30	100	28	17	30	20	120	129	167	58	20	45	20	167	100	200	3	46	105
⑪国見	1600	1900	1800	1800	64	37	15	37	19	83	101	127	49	1750	48	24	117	53	1900	2	129	101
⑫長瀬	1700	2200	1840	1830	87	138	139	269	257	344	357	380	87	2010	45	67	301	308	2120	41	125	300
⑬五原	1700	2400	2050	2050	151	51	64	125	116	267	278	160	139	2240	46	42	98	155	2400	25	84	113
⑭幸崎	1700	2200	1840	1830	104	144	145	239	236	310	346	487	104	2020	36	64	201	304	2200	16	54	143
⑮外岩	1700	2200	1840	1830	82	161	137	285	259	341	371	357	82	2010	45	154	341	324	2200	23	35	196
⑯彦田	1700	2400	2010	1900	120	98	122	185	253	373	340	271	120	2040	58	65	297	268	2400	6	25	48
⑰長取	1800	2400	2000	1940	93	154	140	316	262	355	484	371	85	2300	36	44	282	283	2400	36	127	217
⑱須賀	1700	2400	2000	1950	148	143	126	298	248	396	506	323	148	2300	50	98	165	279	2400	87	168	205
⑲藤原	1700	2400	2100	2100	212	83	87	177	172	384	389	212	188	2250	49	53	144	232	2400	44	121	177
⑳飯所	1700	2400	2030	2000	113	132	128	280	262	375	434	311	113	2250	48	81	159	299	2400	69	111	189
㉑早瀬	1700	2400	1950	1950	126	112	129	251	262	388	441	319	126	2310	42	92	138	235	2400	84	155	185
㉒長瀬	1800	2400	2010	2000	128	94	118	247	243	371	400	287	128	2240	43	127	168	274	2400	58	120	178
㉓五見	1800	2400	1910	1910	70	103	132	250	269	339	394	315	70	2230	32	99	255	253	2400	57	82	175

44.4 69.6 193.4 193.6 28.9 118.3 150.5

第13図(c)は(a), (b)図と同じ予測時点における降雨開始からの積算雨量 RS と R3E の和を一雨の総雨量 RST と比較したものである。むしろこの場合はほぼ全地点で±30%以内におさまった。

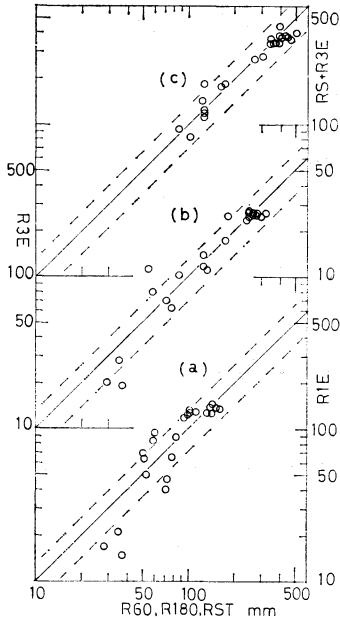
第14図は第13図と同じ予測時点での R180 に対する R3E, R3H, R3S の比較である。R3E に較べて、R3H は R180 との相関はあるがいずれも過大評価である。R3S は R180 が 100 mm を超えると著しく過少評価となる。以上のようにピーク時附近での (R1E, R3E) による予測は±30%の相対誤差で信頼できるといえ、今回のように降雨時間が3~7時間程度の雨ではピーク時において一雨の総雨量も同じく±30%の相対誤差で推定できそうである。

5.2 豪雨のおさまりについての検討

第2表には各地点での5.1の結果と併わせて、実際の

(R60, R180) による豪雨階級がFを下まわって表示が消えた時点、並びに降雨終了時点での R3E, R3H, R3S の値を示している。欄の下に記したように (R60, R180) による豪雨表示が消えたときの R180 の平均値が 44.4 mm であるのに対し、R3E, R3H, R3S の平均値はそれぞれ 69.6 mm, 193.4 mm, 193.6 mm となって、R3E は豪雨のおさまりについて R3H, R3S によるよりも良好な判断を示している。同じく降雨終了時での R3E, R3H, R3S の平均値はそれぞれ 28.9 mm, 118.3 mm, 150.5 mm で、R3E によれば F 階級も消え豪雨のおさまりを判定している。

5.3 ピーク時における雨量予測、ならびに豪雨のおさまりについてかなり良好な判断ができたことは、大村空港の例で代表されるように、3.3, ③で述べた、DR, r, rT の評価による短時間降雨の判定がうまく行なわれ

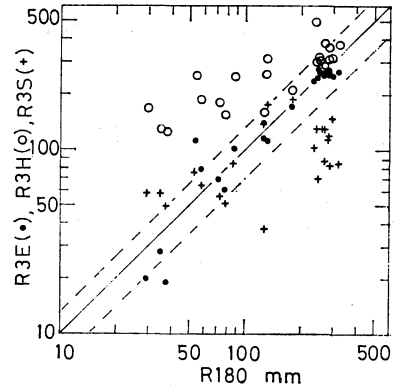


第13図 実際の今後雨量とハイトグラフによる予測雨量の比較。(a); R60 対 R1E, (b); R180 対 R3E, (c); 一雨の総降雨量 (RST) と  $t_1$  における (RS+R3E) の比較。単位は mm。

たものと思われる。これにより適切な  $b'$  が与えられ、今後急に弱まる雨なのか、あるいはゆっくり弱まるものかを判別できたものと思われる。

6. あとがき

前報の一雨のもつ可能最大短時間雨量の予想の方法から、ハイトグラフを導入して今後の短時間雨量予測の方法に拡張した。降雨のピークが降雨の前半にある場合は予測結果は良好である。ピークが降雨の後半にあったり、もう一つのピークが降雨終了間近に見られる場合、また降雨時間が短くかつ弱い雨の場合は精度が落ちる。弱い雨の場合を除くとピーク時付近での短時間雨量予測は実際に較べて相対誤差±30%に近いがそれ以内におさまった。レーダ、気象衛星による降雨域の移動速度やエコー強度分布、他地点からの雨量情報などがあれば、ピーク時、ピーク雨量の早い時点での設定が現実に近いものとなるはずなので、今回の方法による予測は飛躍的に良好になると期待される。これらの高度情報システムで



第14図  $t_1$  における R180 と R3E (●印), R3H (○印), R3S (+印) の比較。単位は mm。

も追従できない局地的豪雨については、雨量データのみによる本方法は各現場には有用であると思われる。また本方法は前報の (R1H, R3H) による豪雨検知、可能最大雨量予想の信頼度を向上させた。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、本誌レフリー諸氏、気象庁海上気象課長山本孝二氏、予報課高瀬邦夫氏より有益な助言を頂いた。記して謝意を表します。

文献

越智 彊, 1973: 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, 153-162。  
 気象庁, 1984: 昭和57年7月豪雨調査報告, 気象庁技術報告, 105, 113-159。  
 塩月善晴, 1981: 極値雨量強度曲線から推定した雨滴粒度分布, 天気, 28, 291-299。  
 ———, 1985: 複数雨滴集団モデルによる極値雨量強度曲線からの雨滴粒度分布の再現, 天気, 32, 553-563。  
 ———, 1986: 10分雨データのみによる豪雨の検知と短時間最大雨量の予想, 天気, 33, 585-592。  
 ———, 他, 1987: 土砂災害を起こす豪雨の予報について, 土木学会論文集, 381, II-7, 83-90。  
 Talbot, A.N., 1891: Rate of maximum rainfall, Technograph No. 5, Univ. of Illinois (岩井重久, 石黒政儀, 1970: 応用水文統計学, 森北出版, 東京, 370 による)