

琉球大学学術リポジトリ

沖縄諸島における降雨強度式型について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-03-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 喜納, 政修, Kina, Seishu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/23751

沖縄諸島における降雨強度式型について

喜 納 政 修*

Rainfall Intensity Formulas in Okinawa Islands

Seishu KINA

Synopsis

In designing a sewage system the determination of flood discharge is the first requisite. Therefore, it is important to select and use the right rainfall intensity formula which fit well for the weather condition in the area concerned.

The purpose of this study is to test the usefulness of some of popular rainfall intensity formulas when applied in Okinawa Islands. The formulas considered herein are those presented by A.N. Talbot, C.W. Sherman, and S. Hisano.

The weather records used in this study were collected from the weather bureaus in three cities, that is, Naha (Okinawa Is.), Hirara (Miyako Is.), and Ishigaki (Yaeyama Is.).

From the discussion presented in this paper it was found that Talbot formula, expressed as $I=a/(t+b)$, is more suitable for weather condition in Naha and Hirara, whereas Hisano's formula, $I=a/(\sqrt{t}-b)$, was found suitable in Ishigaki. In these formulas the letter I means rainfall intensity in millimetre per hour, t the duration of rainfall in minute, and a, b are constants. The values of the constants were determined from the weather data in those three cities for specified frequency of occurrence, say, 1,2,...,n year storm. It is also found that five year storm frequency are more preferable to use in the formulas as a standard in all of these cities.

The constants a and b in this case were determined as 9280 and 62, respectively for Naha, 5590 and 49 for Hirara, and 674 and -1.3 for Ishigaki.

I 序

都市下水道、道路排水等の設計計画をするには、その地方の短時間強雨の特性を明かにすることが最も重要である。

しかるに、宮古、八重山を含む沖縄諸島における強雨の特性については、殆んど検討されていない。那覇市については、市自体約50年間の降雨資料にもとづく、独自の公式もあるが、ただ用いられた資料は継続時間10分と60分間の二つだけで、係数決定の場合、他の継続

* 琉球大学理工学部土木工学科

時間は考慮されていないように思う。

斯様な現状にかんがみ、過去約20年間の雨量観測値を琉球気象庁の協力により集め、上記三市の降雨強度公式型の検討を行ない、各頻度（確率年）に対する降雨強度公式を示した。

ある地点での雨の回数及び量は地理的關係、海洋よりの距離、地盤の高さ、恒風、風を横切る山脈の状勢等によって異り、更に時間的にも、日により月により年により異なるので雨は複雑な現象である。しかし、1地方のみに着目すると、短時間強雨の強度は降雨継続時間のみの関数として扱うことができ、従来、約10種類以上の式型が発表されている。^{(4) (5)}

ここでは最も代表的なTalbot型とSherman型と、その両者の中間型ともいわれる久野型の三つの式型についていずれがよく適合するか検討を行い、それぞれの三市に最もよく適合する式型をその地方の降雨強度公式として採用し、それによって数値計算を行った。これによって下水道計画や道路の路面、側溝排水、小河川や小区域排水などの設計基準の一端を見出すことができると思う。

Ⅱ 降 雨 資 料

降雨資料は那覇市、天久气象台、連続13年間（1953～1965年）、平良市、宮古气象台、連続20年間（1947～1966）、石垣市、八重山气象台、連続20年間（1946～1965年）にわたって

Table 1. Intensity of heavy rainfall in Naha (mm/hr)

Serial No.	Average num ber per year	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	80 min	120 min
1	0,076923	156.0	139.8	120.3	118.0	114.0	86.3	68.3	56.5
once per 10 years	0,100000	150.6	139.8	120.0	113.6	106.7	82.7	67.9	56.1
2	0,154846	142.8	139.8	120.0	103.2	89.4	74.3	67.1	55.0
once per 5 years	0,200000	141.4	131.5	116.6	101.6	86.1	73.9	65.9	51.6
3	0,230769	140.4	126.0	114.3	100.6	84.0	73.7	65.1	49.4
4	0,307692	135.6	120.0	101.1	93.2	82.9	73.3	65.1	48.3
once per 3 years	0,333333	134.4	120.0	100.4	92.1	82.2	73.3	64.6	48.1
5	0,384615	132.0	120.0	99.0	90.0	78.8	72.3	63.6	47.9
6	0,461538	126.0	118.8	97.2	90.0	76.4	69.0	59.6	41.0
once per 2 years	0,500000	123.0	118.8	96.6	87.1	75.6	64.7	59.6	41.0
7	0,538461	120.0	118.8	96.0	84.2	74.7	60.3	58.2	40.9
8	0,615384	120.0	117.6	90.0	81.0	69.0	60.1	52.2	39.2
9	0,692307	120.0	111.0	84.0	80.0	68.0	59.6	52.2	39.1
10	0,769230	120.0	109.8	80.7	79.4	65.7	57.4	45.2	38.6
11	0,846153	116.4	109.8	78.9	78.8	65.6	57.3	43.4	38.3
12	0,923076	108.0	109.2	76.8	77.6	60.0	50.7	42.8	37.7
13	1,000000	108.0	108.0	76.2	71.6	59.4	50.2	42.2	33.8
Aaerage, No. 1 to 10		132.28	122.16	100.26	91.96	80.42	68.63	59.65	45.56

Table 2. Intensity of heavy rainfall in Hirara (mm/hr)

Serial No.	Average number per year	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	80 min	120 min
1 (once per 20 years)	0,050000	198.0	187.2	145.2	108.4	107.6	100.2	93.7	79.3
2 (once per 10 years)	0,100000	177.6	163.8	120.6	106.8	105.2	91.2	82.9	61.6
3	0,150000	156.0	156.0	118.8	105.0	103.1	83.8	73.1	57.5
4 (once per 5 years)	0,200000	156.0	153.6	116.7	105.0	100.8	78.0	70.1	49.7
5	0,250000	156.0	139.2	115.8	100.8	92.1	76.6	63.8	48.5
6	0,300000	156.0	132.0	115.8	98.4	90.0	75.0	61.1	48.4
once per 3 years	0,333333	154.8	131.4	114.6	96.2	87.6	72.2	61.0	47.4
7	0,350000	154.8	131.4	114.0	95.2	86.4	70.8	60.9	46.8
8	0,400000	151.2	130.8	104.7	94.4	85.4	70.1	58.3	45.5
9	0,450000	144.0	130.8	103.2	94.0	83.4	69.0	58.3	45.1
10 (once per 2 years)	0,500000	144.0	126.0	102.0	88.8	83.1	68.7	58.2	44.4
11	0,550000	144.0	124.8	101.7	86.0	78.0	68.1	57.2	44.3
12	0,600000	144.0	120.0	99.6	84.0	78.8	65.4	55.7	42.3
13	0,650000	141.6	118.2	96.0	83.8	77.4	63.9	55.6	41.0
14	0,700000	139.2	117.6	96.0	82.4	75.8	63.8	55.6	40.1
15	0,750000	132.0	117.0	94.2	80.0	75.6	63.0	50.3	39.8
16	0,800000	132.0	115.2	93.0	78.2	75.6	61.9	49.9	38.5
17	0,850000	132.0	114.6	91.2	77.6	73.8	59.0	49.1	38.4
18	0,900000	132.0	114.6	90.6	77.0	72.9	58.0	48.8	35.7
19	0,950000	132.0	114.0	89.7	76.6	72.9	57.5	48.3	35.5
20	1,000000	132.0	114.0	89.1	74.2	72.8	57.0	46.4	34.6
Average, No.1 to 20		147.72	131.04	104.90	89.83	84.56	70.05	59.85	45.84

Table 3. Intensity of heavy rainfall in Ishigaki (mm/hr)

Serial Nvo.	Average number per year	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	80 min	120 min
1 (once per 20 years)	0,030000	204.0	186.0	154.5	121.2	101.7	95.4	89.3	79.8
2 (once per 10 years)	0,100000	186.0	174.0	127.8	108.2	100.7	86.3	79.5	69.8
3	0,150000	180.0	159.6	119.4	104.4	93.0	79.0	66.8	55.0
4 (once per 5 years)	0,200000	170.4	150.0	118.2	97.6	81.9	71.0	62.4	52.9
5	0,250000	168.0	144.0	114.0	92.6	80.1	63.1	61.4	49.3
6	0,300000	156.0	138.6	107.7	91.0	77.3	67.5	58.4	48.4
once per 3 years	0,333333	156.0	137.4	105.7	89.4	76.3	67.5	57.5	47.4
7	0,350000	156.0	136.8	104.7	88.6	75.8	67.5	57.0	46.9
8	0,400000	156.0	136.2	97.5	88.0	75.0	61.3	53.6	45.5
9	0,450000	153.6	130.2	96.6	80.8	74.0	60.2	53.6	43.5
10 (once per 2 years)	0,500000	150.0	126.0	94.8	80.0	71.0	59.3	52.5	43.5
11	0,550000	147.6	123.6	93.9	79.0	70.1	57.4	52.4	40.7
12	0,600000	144.0	120.6	88.2	78.8	69.9	56.7	51.4	38.5
13	0,650000	144.0	120.0	87.0	78.4	69.9	56.5	50.3	38.0
14	0,700000	132.0	116.4	86.4	77.0	69.8	55.9	48.8	37.3
15	0,750000	132.0	116.4	85.8	76.2	68.7	55.7	48.6	37.1
16	0,800000	132.0	114.0	84.9	74.0	66.0	53.2	48.0	36.2
17	0,850000	126.0	114.0	84.8	71.4	63.3	52.0	47.7	35.8
18	0,900000	126.0	114.0	83.1	70.0	62.1	51.8	46.5	35.6
19	0,950000	123.6	112.2	82.8	63.2	61.2	51.1	44.9	34.9
20	1,000000	122.4	108.0	82.5	67.6	61.1	50.7	44.9	34.7
Average, No.1 to 20		150.48	132.03	99.69	84.65	74.57	62.83	55.85	45.16

拾集した。雨量読取りの方法は5、10、20、30、40、60、80、120分間の各継続時間について、降雨量（mm）を一年間の記録中、最大値から4位までのものを毎日の自記降雨記録紙上から読みとり、4位以下の降雨量でも値が大きいものについては、那覇市の場合13年間で13位以内、平良市および石垣市は20年間で20位以内の値にならないかどうか確めた。（10分間と60分間の値は気象台職員による読取値の記録が各気象台にあったのでそれを使用した。）

降雨強度 I を $I = R \times 60 / t$ （但し R は降雨量（mm）、 t は降雨継続時間（min））から算出し、各継続時間毎にたとえば、那覇市の場合13年間の全資料中大きさの順に1位から13位まで選出して順次並べたのがTable 1である。（順位選出法）。平良市、石垣市はそれぞれTable 2、3に示す。これらの表から、各頻度（たとえば1、2、5、…年に1回の大雨）に対する降雨強度公式がきまる。

Ⅲ 適合度の検定

前述したように比較に用いた降雨強度式型は次のTalbot型、Sherman型、および久野型の三つである。

$$I = a / (b + t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$I = a / (t^b) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$I = a / (\sqrt[t]{t} - b) \quad \dots\dots\dots(3)$$

I = 降雨強度（mm/hr）、 t = 継続時間（min）、 a 、 b = 係数。

比較検定に用いた降雨資料は、資料のバラツキを少なくし、その地域の降雨特性をつかむために那覇市の場合 Table 1 の1から10位まで、平良市、および石垣市の場合はそれぞれ1位から20位までの平均値をもって、代表値とした。上述三式の係数決定には、最小自乗法を用いた。これらの式から各継続時間（5、10、20、30、40、60、80、120分）についての

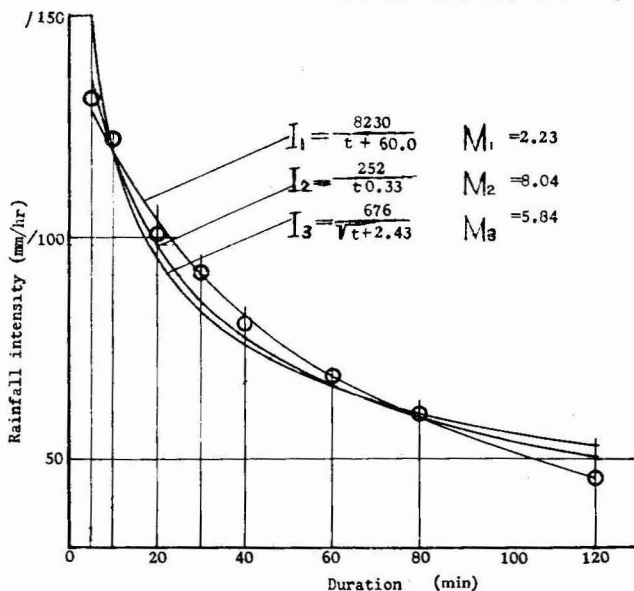


Fig.1 Comparison of goodness of fit for Talbot's, Sherman's and Hisano's Formulas

Table 4. Examples of calculation of curve fittings for Naha

① 継続時間 t (min)	② 代表資料値 (mm/h)	③ (1)式算定値 (mm/h) I ₁	④ ③③の偏 差 v	⑤ (2)式算定値 (mm/h) I ₂	⑥ ②⑤の偏差 v	⑦ (3)式算定値 (mm/h) I ₃	⑧ ②⑦の偏差 v
5	131.3	128.0	- 3.3	149.0	+ 17.7	144.8	+ 13.5
10	122.2	118.7	- 3.5	118.8	- 3.4	120.8	- 1.4
20	100.3	103.6	+ 3.3	94.8	- 5.5	97.9	- 2.4
30	92.0	91.9	- 0.1	83.0	- 9.0	85.4	- 6.6
40	80.4	82.6	+ 2.2	75.6	- 4.8	77.2	- 3.2
60	68.6	68.7	+ 0.1	66.2	- 2.4	66.4	- 2.2
80	59.7	58.8	+ 0.9	60.3	+ 0.6	59.4	- 0.3
120	45.6	45.7	+ 0.1	52.8	+ 7.2	50.5	+ 4.9
		$\sum v^2$ M ₁	139.71 2.23	$\sum v^2$ M ₂	517.10 8.04	$\sum v^2$ M ₃	273.71 5.84

降雨強度を逆算し、観測値と算定値との偏差Vを求めた。標本平均誤差Mを $M = \sqrt{\sum v^2 / N}$

(N=8は観測回数)から求めその大小によって適合度を比較することができる。那覇市の場合の適合度比較計算例を示すとTable、4とFig、1のようである。平良市、石垣市についても同様な方法で計算した結果をまとめてTable、5に示す。

まず那覇市の場合、Fig、1及びTable、4から明かのように Talbot 型が $M=2.23$ で最もよく適合している。とくに継続時間が30分より長くなると実測値と計算値はよく一致している。久野、Sherma 型は60分をさかいに上下にはずれていき、60分以上では継続時間が長くなるにしたがってかけはなれていく傾向にある。

Table 5. Comparison of goodness of fit of rainfall intensity formulas

那 覇		平 良		石 垣	
式 型	M	式 型	M	式 垣	M
$\frac{8,230}{t+60.0}$	2.23	$\frac{7,860}{t+52.3}$	4.78	$\frac{7,510}{t+53.4}$	9.21
$\frac{252}{t-0.33}$	8.04	$\frac{293}{t+0.36}$	7.20	$\frac{305}{t-0.39}$	5.61
$\frac{676}{\sqrt{t}+2.43}$	5.84	$\frac{647}{\sqrt{t}+1.84}$	4.84	$\frac{574}{\sqrt{t}+1.38}$	3.63

次に平良市の場合であるが、Sherman 型は $M=7.20$ で問題にならない。Talbot 型と久野型を比較すると、それぞれ $M=4.78$ 、 $M=4.84$ でその差わずか0.06である。両式いずれにし

ても適合度はそれ程悪くはないので、第1位の Tablot 型をとることにした。今後検討の余地はあると思う。石垣市は短時間とくに5分、10分間強度が大きく、久野式がよく適合している。総体的に、沖縄諸島の降雨特性はTablot型と久野型の間、またはその近傍にあるといえよう。Sherman型はあまりあてはまらないように思う。現在他府県で、最も多く使用されている型がTalbot型でその次に Sherma 型が多い。斯様な現状に対して、石黒政儀⁽¹⁾、久野重一郎⁽²⁾は検討の必要を強調している。

IV 各地域の降雨強度

さきに行った検定の結果、最もよく適合する式型により、それぞれ1、2…YearStormについて、最小自乗法により降雨強度公式を決め、その公式により各継続時間に対する強度を逆算した。結果をTable、6とFig、2、3、4に示す。

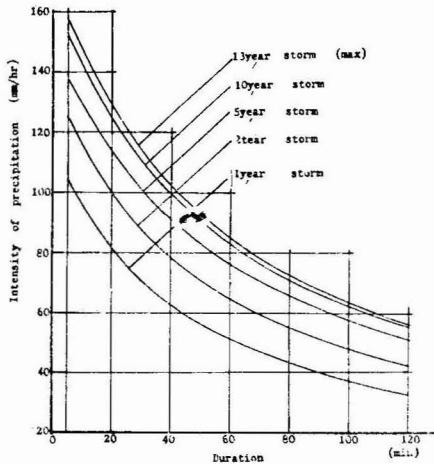


Fig.2 Intensity-duration-frequency of heavy rainfalls in Naha city,

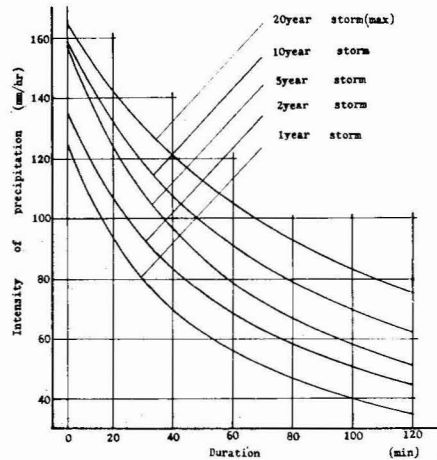


Fig.3 Intensity - duration - frequency of heavy raifes in Hirara city

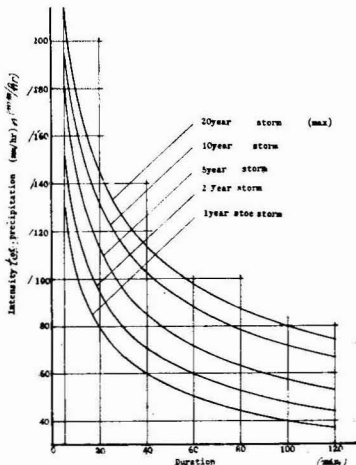


Fig.4 Intensity - duration - frequency of heavy rainfalls in Ishigaki city

Table 6. Intensity - duration - frequency of heavy rainfalls

地 名	式 型	1年1回の 頻度	2年1回の 頻度	5年1回の 頻度	10年1回の 頻度	絶 対 最 大	備 考
那 覇	Tablot型	$\frac{5530}{t+48}$	$\frac{7360}{t+54}$	$\frac{9280}{t+60}$	$\frac{9990}{t+60}$	$\frac{9960}{t+58}$	絶対最大は 13年1回の頻度
平 良	Tablot型	$\frac{5530}{t+39}$	$\frac{7610}{t+52}$	$\frac{8590}{t+49}$	$\frac{11700}{t+69}$	$\frac{1590}{t+91}$	絶対最大は20年 1回の頻度
石 垣	久 野 型	$\frac{448}{\sqrt{t+1.2}}$	$\frac{535}{\sqrt{t+1.2}}$	$\frac{647}{\sqrt{t+1.3}}$	$\frac{885}{\sqrt{t+2.3}}$	$\frac{987}{\sqrt{t+2.4}}$	絶対最大は20年 1回の頻度

図からあきらかのように石垣市の場合は、継続時間が5分、10分間ではかなり大きな値を示し最も大きい、その後60分までは急激に降下し、この附近では三都市のうち、逆に最小になっている。設計基準を決める場合は60分雨量をもとにするのが普通であるので標準降雨強度公式をきめる場合にカーブの特性を考慮する必要がある。那覇市の場合は継続時間に対する変化もすくないが全体として強度は小さい。平良市の場合は那覇、石垣両市の中間型といえよう。那覇市のカーブで10year stormとmax、stormとの間隔が接近しているのは、13年分しか資料が得られなかった（他の二都市は20年分）ため、10、13年と年が接近しているためである。

全く不規則に降る雨を厳密な意味で一つの公式で律することができないのは当然であるが、沖縄諸島の場合も以上の考察からわかるように、上記三都市とも式型にいくらかの差異がある。

(2)
久野重一郎は強雨性と多雨性の間にはかならずしも明確な関係はないと述べているが、短時間強雨が大きければ長時間強雨も一般に大きいことは予想されるが、沖縄諸島においてはおそらく両者の間にも密接な関係はないのではなからうか。それは降雨の原因が前線、低気圧、雷雨、梅雨、台風等多様であり、とくに降雨の極値（強雨）は異常気象によることが多いからであろう。

構造物の設計にあたっては経済性と施設の機能の両方を同時に考慮しなければならないことはいうまでもない。何年1度の雨量を設計基準にするかはその施設の重要性和その地域の特性によるが、特殊な地域（特殊工業地帯では10～15year stormを設計基準にすることがある。）を除いては、大体2～5year stormを標準降雨強度公式としている。（下水道施設基準では3～5year stormと規定）。

沖縄諸島の都市地区ではどの程度の雨量を基準にすればよいか検討してみる。Table、7は1時間降雨量とそれ以上の降雨の起る回数との関係を示す。（回数はTable1、2、3の観測値から拾う）。Table、7からわかるように、5year stormを設計基準に選ぶことが最も合理的であるように思う。すなわち、那覇市では75mm/hr（約5year storm）以上の降雨のおこる回数は13年間でたった1回である。しかしわずかに5mm/hr基準を下げ70mm/hrとすると回数は1年に4回まし、5回となる。このことは70mm/hrを基準にすると13年間で5回の氾濫を予想していることになる。75mm/hr以上に基準をひきあげても、たった1回の氾濫をおさえ得るだけで経済性を考慮した場合、工費がかさむ割にはその効果は期待できない。平良、石垣両市も那覇市と全く共通の傾向を示している。すなわち、5year

Table 7. 1 hour rainfall intensity and frequency of occurrence that was equal to or more than stated magnitude.

那 覇			平 良			石 垣		
1 時間 雨 量	回 数 (13年中)		1 時間 雨 量	回 数 (20年中)		1 時間 雨 量	回 数 (20年中)	
55	11		65	19		55	15	
60	8		70	8	約 2 year storm	60	9	約 2 year storm
65	6	約 2 year storm	75	6		65	7	
70	5		80	3	約 5 year storm	70	4	約 5 year storm
75	1	約 5 year storm	85	2		75	3	

stormを中心に5 mm/hr基準を引き下げると、いずれも3回氾濫回数を増し、5 mm/hr基準を引き上げてもらった1回の氾濫をおさえるにすぎない。結局三つの都市は 共通に5 year stormを基準に選ぶことが最も合理的であることがわかる。またながい目でみた場合、経済的にも得策であろう。

改善の策としてどれがよいかを見ると、同様な検討により、2 year stormをとることがよい。しかしこの場合はそれぞれ那覇市13年間に6回、平良市20年間に8回、石垣市20年間に9回の豪雨の氾濫を予想している。

V 結 び

- 1) 那覇市、平良市、石垣市について降雨強度公式式型の適合度の検定から、1、2、5、10、yearstormおよび最大豪雨について、降雨強度公式をきめ、数値計算を行った。
- 2) 適合度検定の結果は、那覇市 $M=2.23$ (Talbot型)、平良市 $M=4.78$ (Talbot型) 石垣市 $M=3.63$ (久野型) で適合度は割合高い。
- 3) 継続時間5～120分間で三つの都市を比較すると石垣市が短時間強雨型、平良市が長時間強雨型であるといえよう。那覇市は強度が最も小さい。
- 4) 標準降雨強度公式としては三都市いずれも5 year stormが経済性および、施設の機能性から最も合理的である。
- 5) M 値でみると、平良市も他の二つの市と適合度においては大きな差はない。しかしこの市の場合、久野型でも $M=4.84$ でTalbot型 ($M=4.78$) とあまり差がない。また個々の降雨強度公式においては、とくに5 year stormと10 year stormのカーブは継続時間が小さくなるにしたがって接近し5分間では事実上一致しているので、この平良市については更に検討の余地がある。
- 6) 資料は、平良市、石垣市は20年間分採った方が、那覇市の場合は現在の場所に移転してからのデーターであり13年間分しかとれなかった。

7) 久米島に測候所があるがここでは取扱っていない。また沖縄本島の降雨分布は1600～2600mm/yearで北部にいくにしたがって大きくなっている。降雨強度も多少変わることが予想されるが北部には過去に測候所がなく、データがないのが残念である。今後データの蓄積により一層こまかい検討が必要であろう。

8) 降雨資料の処理はここでは現在一般に用いられている最小自乗法によったが、すでに岩井重久、石黒政儀等によって提唱されているように、今後の方向としては水文統計的な確率計算法の適用の一層の発展、普及がのぞまれる。

資料拾集にあたっての、琉球気象庁本庁の官良観測係長および観測係の皆様、宮古島気象台技術課、八重山気象台技術課の方々の御協力、御援助に感謝致します。

引用文献

- 1) 石黒政儀：本邦における降雨強度式型の地域的特性について、水道協会雑誌、第313号、P64～75、(昭35、10)
- 2) 久野重一郎：強雨の新法則に関する研究、土木学会誌、第13巻、第2号、PP.193～208、(昭2、4)
- 3) 石黒政儀：日本主要都市の確率降雨強度式について、土木学会論文集、第65号、PP.21～27、(昭34、9)
- 4) 石黒政儀：雨水量の計算諸公式と今後の動向、下水道協会雑誌、Vol. 4、No.37、(1967.6)
- 5) 杉戸清：下水道学(前篇)、技報堂、PP.33～43、(昭35)