

那覇の降雨傾向

株式会社 沖橋エンジニアリング

2011(平成23)年4月18日改訂

1. はじめに

那覇市は、沖縄県の県庁所在地として行政や商業の中心地で人口が集中しており、気象変動は、これらの活動に少なからず影響を与えることとなります。気象台アメダスの観測は、1977(昭和52)年からで、観測所の位置は、北緯26度12.4分、東経127度41.1分、標高28.1mに在ります。本書は、那覇の降雨傾向を把握するために過去の集中豪雨(時間雨量40mm以上、3時間雨量70mm以上)を抽出し、発生数・発生パターン・月別年別発生頻度・ピーク時間雨量・継続時間などを整理しました。さらに系数・読谷・胡屋と同時に観測した日にちを整理しました。その結果、以下のような状況を把握しました。詳細は次頁以降に添付します。

- - 那覇の豪雨特徴 - -

集中豪雨の発生件数は本島南部では最も多い72回でした。その半数以上(38降雨)が5時間以内の降雨でした。

集中豪雨は3月から9月に多く発生し、特に6月と9月(各11回)が多くなっています。雨が降り出して止むまでの間(以下'1降雨'と称す)の総雨量が300mmを越えた雨は、6回発生しています。このうち5回は平成10年以降に発生しています。

1降雨のピークが2回発生している雨が有ります。これは沖縄本島(周辺離島を含む13観測所)では20降雨有り、そのうちの6降雨が那覇に集中しています。

降雨継続時間の長い雨は、ピーク時間雨量は大きくなりませんが総雨量が多くなります。一方、ピーク時間雨量の大きい雨は、継続時間が短い雨が多いようです。これは沖縄県全体に言える傾向でもあります。

要注意降雨(時間雨量60mm以上、総雨量200mm以上)は、那覇(8降雨)に集中しています(沖縄本島(周辺離島を含む13観測所)では32降雨)。

集中豪雨のピークは雨の降り出しからすると中盤から後半に有ります(後方山型)。

集中豪雨が同時に発生した観測所は系数(27回)が最も多く、胡屋(26回)・読谷(13回)の順となっています。

那覇と胡屋が同時に集中豪雨となれば、総雨量が多くなります(那覇26降雨のうち23降雨が総雨量が100mm以上に達し、平均206mmとなります)。これより、「那覇と胡屋が同時に集中豪雨が発生すると、災害発生が懸念されるような大雨となる」と言えます。

2. 雨量資料

2-1. 集中豪雨(大雨)の判定

雨量資料として沖縄気象台那覇観測所のデータを用いました。日々の時間雨量が整理されているのは1977年(昭和52年)からであるので、雨量資料の取扱いも1977年からにしました。よって、資料の年数は34年間(1977~2010)となります。

集中豪雨は、「時間雨量が多い」ということが常識です。その判断基準として(大雨注意報が発令された降雨と判断して)、次のような降雨資料を収集しました。

時間雨量 40 mm以上

3時間連続雨量 70 mm以上

上記の判断基準で雨量を整理して表-1に添付し、過去の降雨状況を把握しました(那覇の資料総数は72個になりました)。なお、1降雨の総量は、時間雨量0.0mmから0.0mmになるまでの合計雨量としました。また、降雨継続時間は、有効な雨の継続時間として時間雨量5.0mm以上の継続時間としました。ただし、5.0mm以下が1時間の場合は継続していると判断しました。

2 - 2 . 降雨パターン

1) 継続時間別降雨

表 - 1の降雨を継続時間別に整理して表 - 2に添付します。継続時間は、時間雨量 5 mm未満の雨が 2 時間連続した場合は、降雨が連続していないと判断しました。なお、1つの連続した降雨の中に時間雨量 5 mm以上の連続した降雨が 2 つ以上ある場合は、ピーク時間雨量が大きい方の継続時間を採用しました。

継続時間 4 時間が最も多くなっています(11降雨)。

5 時間までに全体の半分以上(38降雨)が含まれます。また、10時間までに67降雨が含まれます。

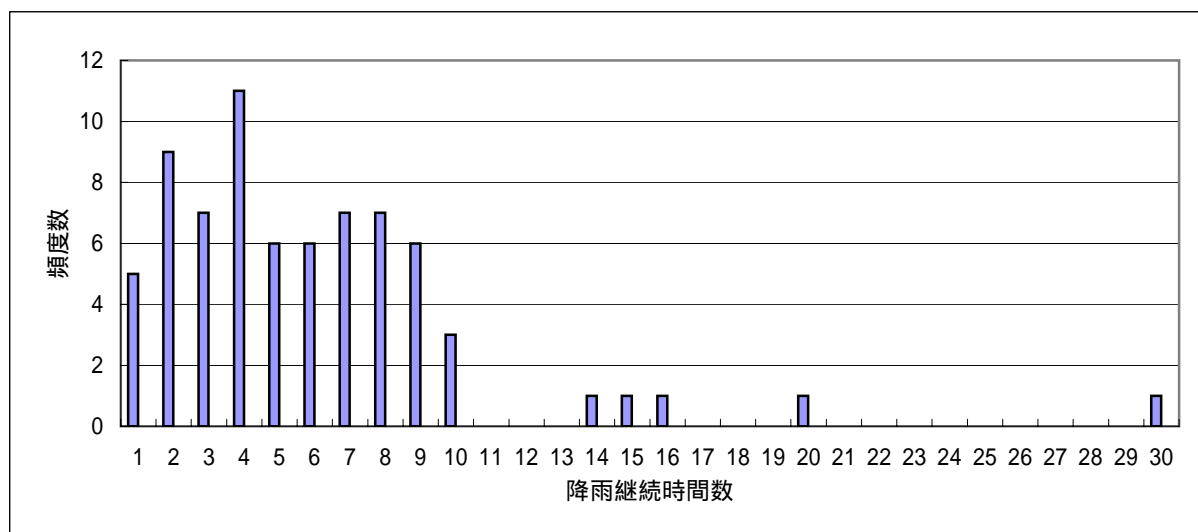
11時間を超えた雨は、No. 6 (142mm)以外はすべて総雨量200mm以上の雨となります(表 - 1、表 - 8 参照)。

20時間以上の 2 降雨は、まれなケースで、総雨量は異常に大きくなります(No.44は 514mm、No.65は496.5mm)。

表 - 2 . 降雨継続時間別分布表

降雨継続時間	降 雨 番 号	(表 - 1 の番号)	個数	計
1	2、3、26、53、68		5	38
2	1、9、10、21、33、40、48、63、69、		9	
3	4、5、20、35、43、61、62		7	
4	8、14、23、27、31、32、36、38、59、67、71		11	
5	18、28、39、47、52、70		6	
6	34、41、50、54、64、72		6	34
7	11、15、19、25、37、58、66		7	
8	7、13、22、30、46、55、57		7	
9	17、24、42、45、49、56		6	
10	6、51、60		3	
14	16		1	
15	12		1	
16	29		1	
20	44		1	
30	65		1	
計			72	72

赤字Noは、要注意降雨(時間雨量60mm以上かつ総雨量200mm以上)



2) 時間雨量の大きい雨の継続時間

時間雨量が大きい雨が長く続いた場合に洪水被害が発生します。ここでは、時間雨量の大きい雨(ピーク時間雨量50mm程度以上)で、総雨量も大きい雨(総雨量150mm程度以上)の継続時間と累計雨量状況を把握して見ました。結果を表 - 3 に添付します。

総雨量の約七割(70.0%)が、5時間以内に降っています(No.12、44、65は例外)。

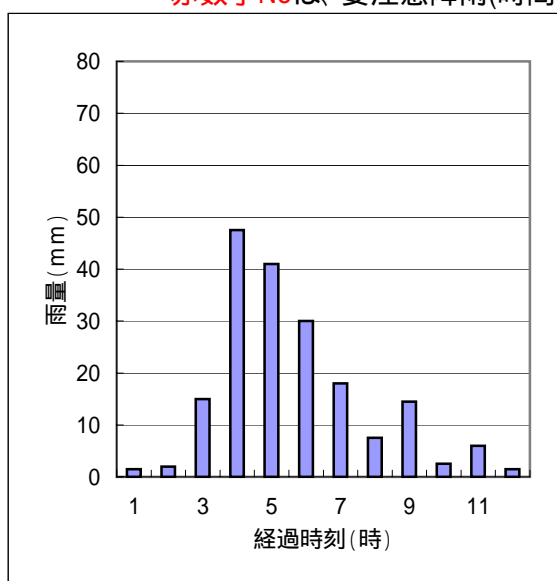
総雨量の約半分(46.6%)は、2時間以内で降っています。

これより那覇の降雨は、1日の降雨量のほとんどが5時間以内に降っていることが解ります。逆に言えば時間雨量の大きい雨(強い雨)が数時間(2～5時間)続くこととなりますので、注意が必要となります(例外3降雨は特に注意することとなります)。

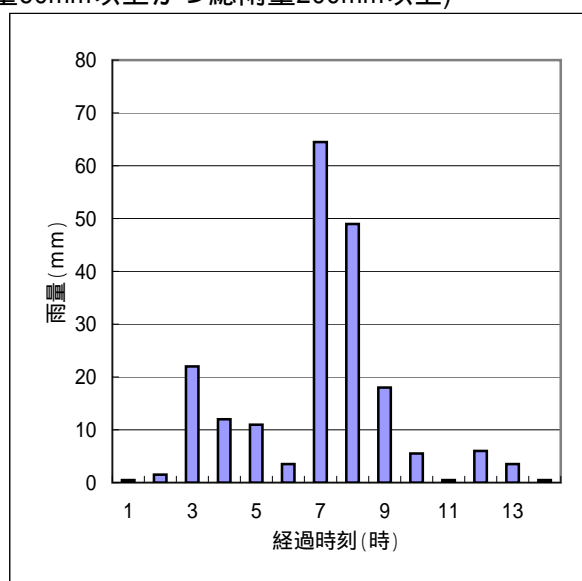
表 - 3.連続雨量の大きい降雨

No	生起年	月	日	1時間雨量	2時間連続雨量	3時間連続雨量	4時間連続雨量	5時間連続雨量	総雨量	5時間以内の%	降雨継続時間
12	1982	S.57	9 23	53.0	81.0	91.0	103.0	111.0	243.0	45.7	15
13	1983	S.58	3 12	60.0	83.0	90.0	102.0	137.0	156.0	87.8	8
17	1985	S.60	8 13	98.0	108.0	116.0	128.0	175.0	209.0	83.7	9
19	1986	S.61	9 24	71.0	129.0	138.0	141.0	146.0	163.0	89.6	7
32	1992	H.04	10 11	87.0	143.0	187.0	200.5	204.0	204.0	100.0	4
41	1998	H.10	7 16	74.0	140.5	146.0	150.5	208.0	236.0	88.1	6
42	1998	H.10	10 4	46.0	65.5	95.0	106.5	124.0	154.5	80.3	9
44	1999	H.11	9 22	74.0	142.5	180.5	218.0	258.5	466.5	55.4	20
46	2000	H.12	11 9	71.5	104.0	120.5	136.5	148.0	172.5	85.8	8
56	2002	H.14	9 5	47.5	88.5	118.5	136.5	151.5	182.0	83.2	9
60	2005	H.17	6 17	64.5	113.5	131.5	135.0	146.0	192.0	76.0	10
65	2007	H.19	8 10	75.0	108.0	112.5	128.5	145.0	467.5	31.0	30
70	2009	H.21	6 15	52.0	82.0	110.5	126.0	131.0	131.0	100.0	5
平均				67.2	106.8	125.9	139.4	160.4	229.0	70.0	10.8
総雨量に対する%				29.3	46.6	55.0	60.9	70.0			

赤字Noは、要注意降雨(時間雨量60mm以上かつ総雨量200mm以上)



(2002年9月降雨)



(2005年6月降雨)

3) 継続降雨

表 - 2 より 6 時間を越える降雨が34降雨有ります。継続時間が長いことより、この降雨を「継続降雨」と称することにしました(図 - 1 参照)。この雨はピーク時間雨量は40mm程度ですが、降雨総雨量が多くなるのが特徴になります。

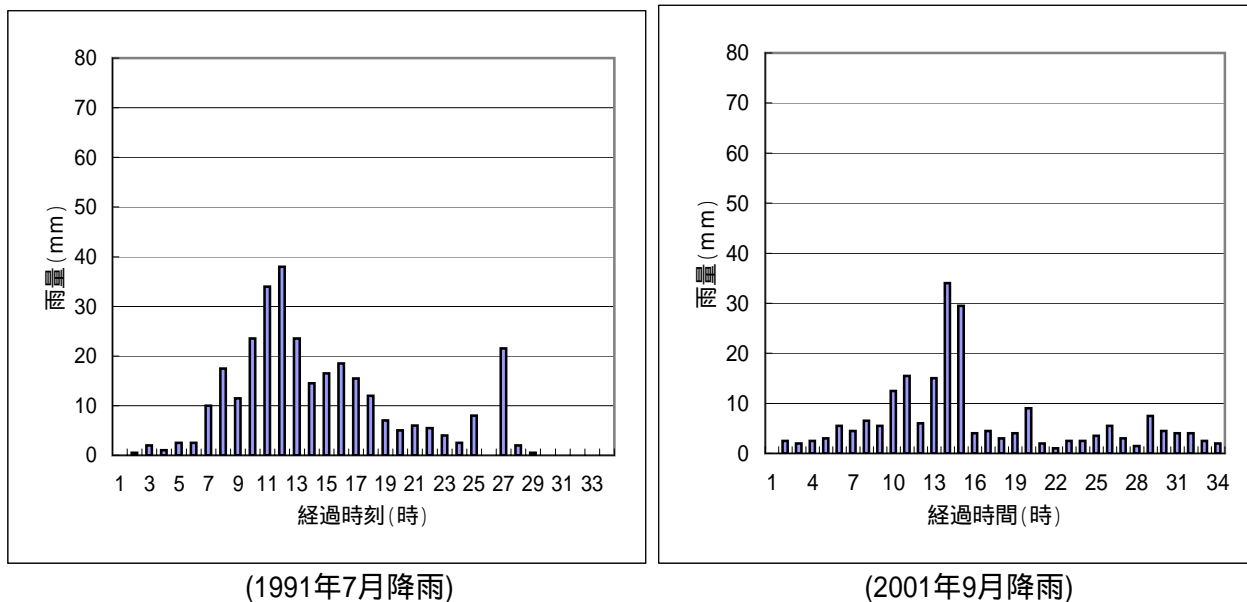


図 - 1 . 継続降雨

4) 短時間集中降雨

表 - 2 より 5 時間以内の降雨が38降雨有ります。継続時間が短いことより、この降雨を「短時間集中降雨」と称することにしました(図 - 2 参照)。この雨は継続時間は短いですが、ピーク時間雨量が大きいことが特徴になります。

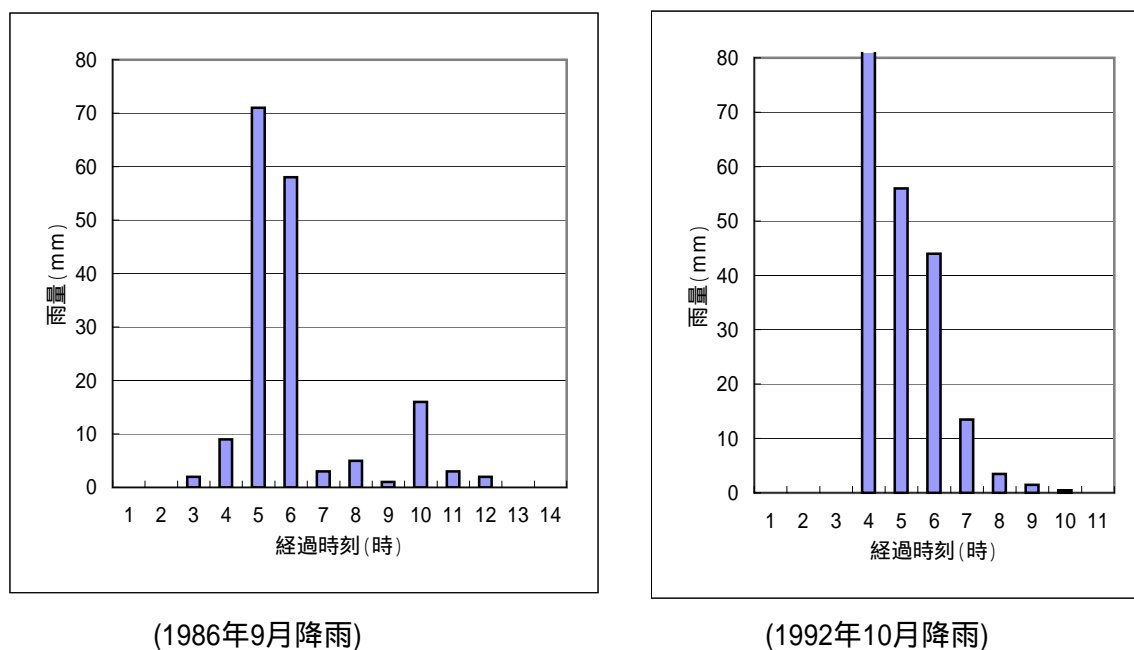


図 - 2 . 短時間集中降雨

5) 要注意降雨

雨量には前述の継続降雨と短時間集中降雨の両方の特徴を持ち合わせる降雨が有ります。雨の降り方としては最も危険な降雨になります(ピーク時間雨量が大きく、総量が多い雨)。那覇には、この条件に当てはまるものが8降雨も有ります(表 - 4、図 - 3 参照)。

要注意降雨の定義

ピーク時間雨量60mm以上、総雨量200mm以上。

表 - 4 . 沖縄本島の要注意降雨発生状況一覧表

No.	観測所	発生年	月	日	ピーク時間雨量 (mm)	総雨量 (mm)	降雨継続時間 (時間)
1	伊是名	1985 S.60	2	25	79.0	247.0 (252.0)	8 (15)
2		1998 H.10	7	16	90.0	220.0 (220.0)	9 (11)
3	奥	2000 H.12	7	28	72.0	354.0 (583.0)	12 (12)
4		2000 H.12	11	9	60.0	249.0 (252.0)	13 (17)
5		2007 H.19	11	8	60.0	141.0 (200.0)	3 (13)
6	国頭	1980 S.55	9	24	139.0	309.0 (311.0)	5 (7)
7		1985 S.60	8	13	66.0	407.0 (409.0)	19 (22)
8		1995 H.7	6	29	77.0	298.0 (314.0)	10 (15)
9	本部	1995 H.7	6	29	71.0	238.0 (239.0)	8 (11)
10		1999 H.11	8	1	60.0	141.0 (285.0)	4 (34)
11		2005 H.17	6	16	60.0	92.0 (208.0)	3 (35)
12		2007 H.19	7	13	63.0	226.0 (261.0)	11 (26)
13	名護	1998 H.10	10	4	65.0	226.0 (289.0)	11 (45)
14		2007 H.19	8	10	60.0	152.5 (318.0)	8 (47)
15	金武	1985 S.60	8	13	75.0	225.0 (238.0)	11 (18)
16		2000 H.12	11	9	70.0	206.0 (209.0)	14 (18)
17		2006 H.18	8	6	66.0	206.0 (226.0)	8 (20)
18	胡屋	1985 S.60	8	13	86.0	193.0 (202.0)	11 (20)
19		2001 H.13	9	7	101.0	287.0 (413.0)	11 (38)
20	那覇	1985 S.60	8	13	98.0	209.0 (218.0)	9 (14)
21		1992 H.4	10	11	87.0	200.5 (206.0)	4 (9)
22		1998 H.10	7	17	74.0	236.0 (236.5)	6 (9)
23		1998 H.10	10	4	73.5	160.0 (398.5)	9 (43)
24		1999 H.11	9	22	74.0	466.5 (514.0)	20 (37)
24		2000 H.12	11	9	71.5	172.5 (210.5)	8 (19)
25		2005 H.17	6	16	64.5	192.0 (403.5)	10 (49)
26	2007 H.19	8	10	75.0	467.5 (496.5)	30 (54)	
27	系数	1999 H.11	9	22	74.0	323.0 (380.5)	14 (30)
28		2007 H.19	9	9	84.0	199.0 (212.0)	10 (17)
29		2007 H.19	12	21	78.0	222.0 (233.0)	7 (13)
30	渡嘉敷	1997 H.9	8	6	83.0	502.0 (514.0)	21 (31)
31		2000 H.12	11	9	62.0	216.0 (221.0)	13 (17)
32	久米島	1998 H.10	10	4	95.0	333.5 (345.0)	11 (19)

赤字は、他の観測所と同時に発生した日にちです。

()内数値は、0.0mmから0.0mmまでの数値。

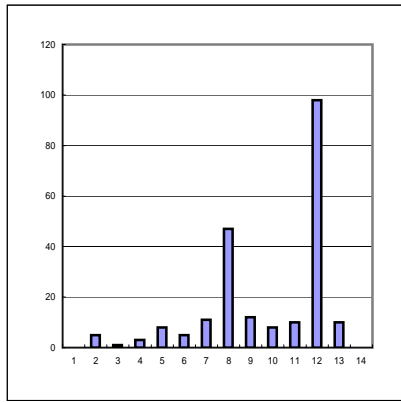
* 系数は、欠測を那覇のデータとした場合ものです。

全32降雨のうち那覇に8降雨(25%)が集中しています。次に多いのは本部の4降雨です。要注意降雨は平成10年以降に集中しています(全体の23降雨(63%))。

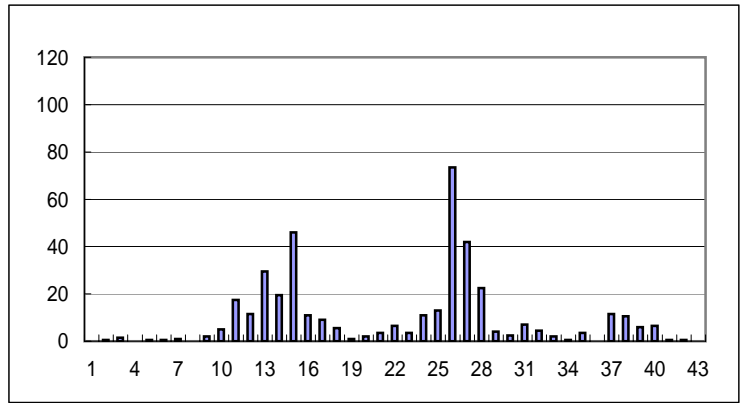
同時に発生したのは7降雨(1985年8月、1995年6月、1998年8月、1998年10月、2000年11月、2005年6月、2007年8月)だけです。1箇所に集中する方が多いと言えます。

降雨継続時間は、24時間以内が殆んどです。

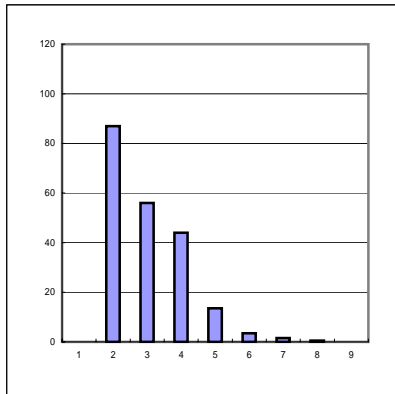
以上を那覇だけに絞って言えば、「近年、那覇には注意を要するような雨が多くなり、本島のどこよりも発生確率が高い」と言えることとなります。



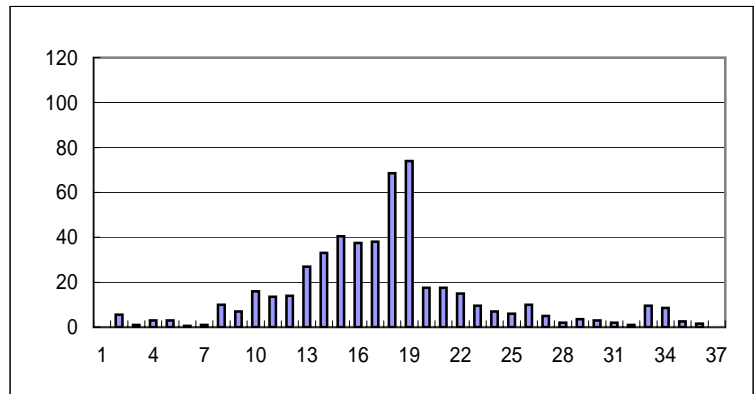
1985年8月降雨



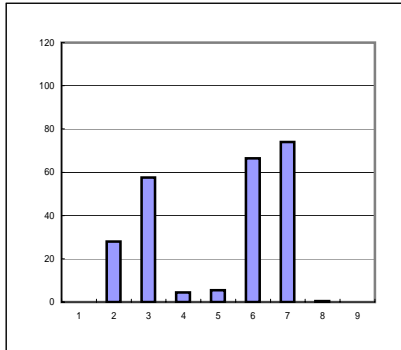
1998年10月降雨(ピークが2回発生)



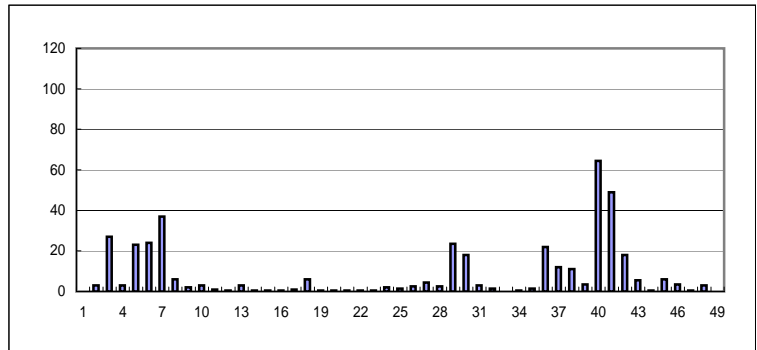
1992年10月降雨



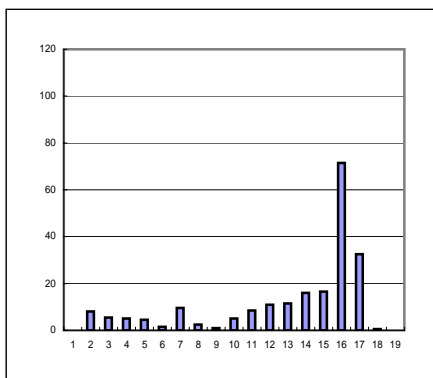
1999年9月降雨



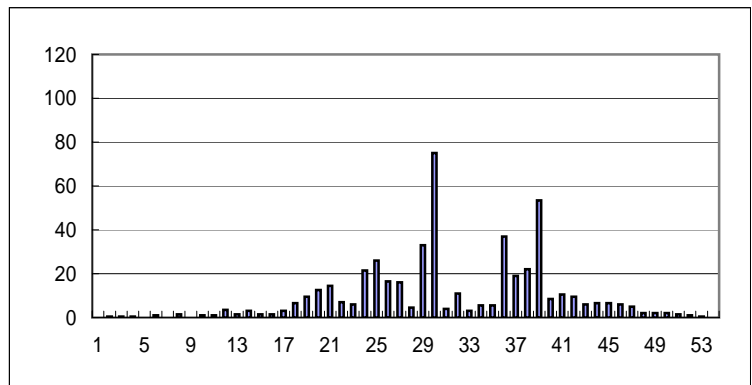
1998年7月降雨



2005年6月降雨



2000年11月降雨



2007年8月降雨(ピークが2回発生)

図 - 3 . 要注意降雨

6) 2山降雨

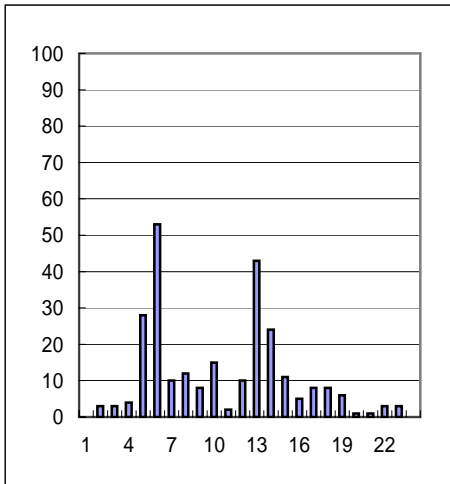
沖縄の集中豪雨の特徴として「2山降雨」があります。これは、集中豪雨と判定した状況(時間雨量40mm以上ないしは3時間雨量70mm)があった後に、再度同じ状況が発生する降雨パターンのことです。いわゆるピークが2回発生する降雨パターンのことです。これは、沖縄本島全体では20降雨あり、那覇が特に多く発生しています(那覇6降雨、渡嘉敷3降雨、名護・久米島に各2降雨、奥・国頭・本部・東・読谷・糸数に各1降雨)。

このパターンの降雨は、総雨量が大きいものが多いので、このような降雨にも注意が必要となります(表 - 5、図 - 4 参照)。

表 - 5. 2山降雨一覧表

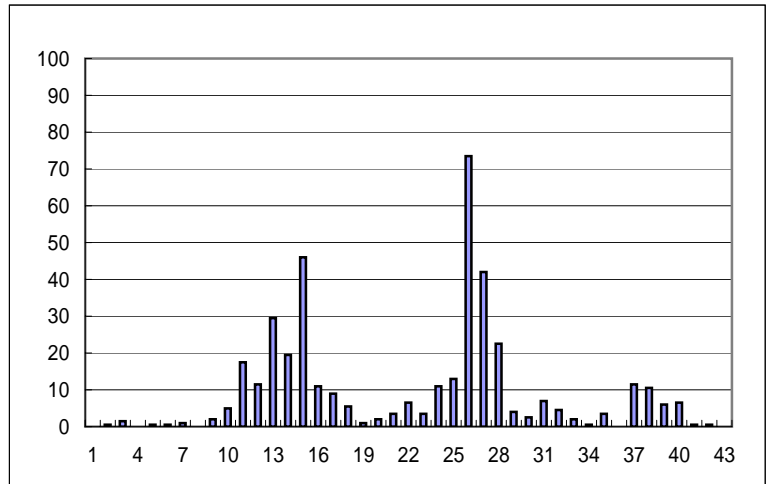
No	観測所	生起年	月	日	総雨量	ピーク時間雨量	降雨時刻		継続時間	ピーク時刻	始りからの時間数	ピーク到達割合	
							始まり	終り					
1	伊是名	1987	S.62	6	18	157.0	44.0	11	26	16	14	4	0.25
							41.0				22	12	0.75
2	奥	2000	H.12	7	28	583.0	40.0	6	59	54	32	27	0.50
							72.0				49	44	0.81
3	国頭	1982	S.57	9	23	320.0	27.0	6	31	26	14	9	0.35
							48.0				24	19	0.73
4	本部	2002	H.14	9	4	373.5	32.0	13	46	34	21	9	0.26
							47.0				27	15	0.44
5	名護	1988	S.63	5	1	168.0	42.0	11	27	17	13	3	0.18
							41.0				25	15	0.88
6	名護	2002	H.14	9	4	339.0	32.0	13	46	34	20	8	0.24
							35.5				27	15	0.44
7	東	1998	H.10	7	16	179.0	47.0	14	23	10	15	2	0.20
							40.0				20	7	0.70
8	読谷	2002	H.14	9	4	342.0	41.0	14	51	38	21	8	0.21
							47.0				47	34	0.89
9	那覇	1982	S.57	9	22	284.0	53.0	19	53	35	35	17	0.49
							43.0				42	24	0.69
10	那覇	1998	H.10	7	16	236.5	57.5	22	28	7	23	2	0.29
							66.5				26	5	0.71
11	那覇	1998	H.10	10	4	398.5	46.0	9	49	41	22	14	0.34
							73.5				33	25	0.61
12	那覇	2002	H.14	9	4	382.0	53.5	15	48	34	21	7	0.21
							47.5				31	17	0.50
13	那覇	2007	H.19	8	10	496.5	75.0	7	58	52	35	29	0.56
							53.5				44	38	0.73
14	那覇	2009	H.21	6	14	185.5	41.0	21	34	14	23	3	0.21
							52.0				28	8	0.57
15	糸数	2007	H.19	8	10	430.0	28.0	15	59	45	31	17	0.38
							53.5				44	30	0.67
16	渡嘉敷	1998	H.10	10	4	512.0	47.0	10	49	40	21	12	0.30
							58.0				30	21	0.53
17	渡嘉敷	2001	H.13	9	11	441.0	41.0	7	60	54	22	16	0.30
							43.0				52	46	0.85
18	渡嘉敷	2007	H.19	8	10	374.0	37.0	10	57	48	29	20	0.42
							37.0				45	36	0.75
19	久米島	1998	H.10	10	4	345.0	95.0	20	38	19	28	9	0.47
							35.0				35	16	0.84
20	久米島	2007	H.19	8	10	300.0	39.5	7	58	52	25	19	0.37
							40.0				48	42	0.81

降雨継続時間24時間以内

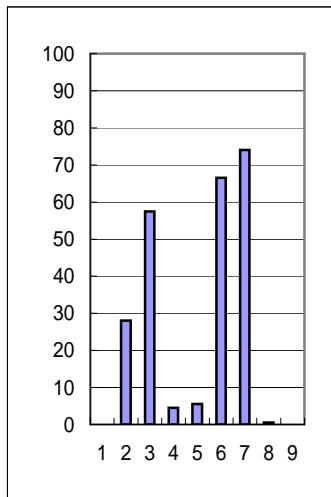


1982年9月降雨

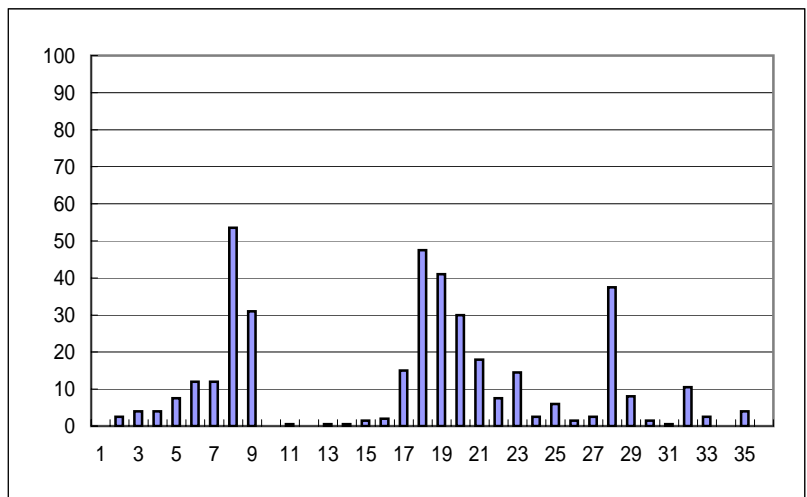
降雨継続時間24時間以上



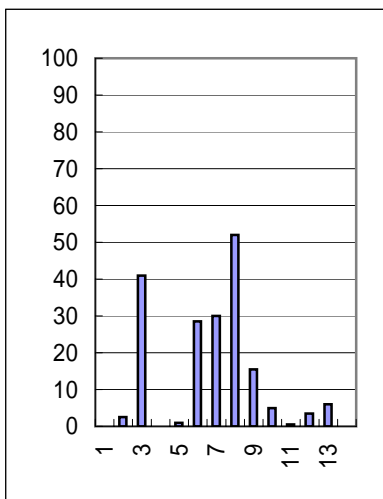
1998年10月降雨



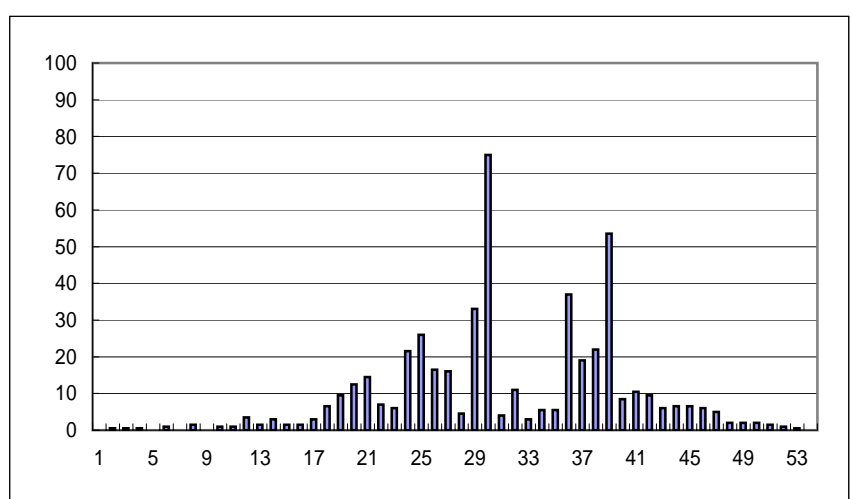
1998年7月降雨



2002年9月降雨



2009年6月降雨



2007年8月降雨

図 - 4 . 那覇の特徴的な降雨(2山降雨)

2 - 3 . 発生頻度

1) 年間発生状況

表 - 1 を発生年別・月別に整理したものを、表 - 6 に添付します。

34年間の発生回数は72回(年平均2.12回)です。近年10年では25回(年平均2.50回)となり発生頻度が高まっています。

集中豪雨の年発生回数の多い年は、平成13年(6回)があります。発生しなかった年は、1年(昭和55年)だけです。

表-6. 集中豪雨年別発生回数表

年数	生起年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
1	1977 S.52						1							1
2	1978 S.53			2	1									3
3	1979 S.54						1		1			1		3
4	1980 S.55													0
5	1981 S.56			2	1									3
6	1982 S.57						1			1				2
7	1983 S.58			2				1						3
8	1984 S.59								1					1
9	1985 S.60								1					1
10	1986 S.61									2				2
11	1987 S.62					1	2	1						4
12	1988 S.63				1	1								2
13	1989 H.1						1		1					2
14	1990 H.2					1								1
15	1991 H.3							1		1				2
16	1992 H.4		1								1			2
17	1993 H.5							1						1
18	1994 H.6					1								1
19	1995 H.7									1		1		2
20	1996 H.8					1								1
21	1997 H.9				1									1
22	1998 H.10		1				1	1			2			5
23	1999 H.11									1				1
24	2000 H.12								1			1	1	3
25	2001 H.13				1	1			1	3				6
26	2002 H.14						1	1		1				3
27	2003 H.15								1					1
28	2004 H.16						1	1						2
29	2005 H.17						1							1
30	2006 H.18				1	1				1				3
31	2007 H.19				1				1				1	3
32	2008 H.20			1				1			1			3
33	2009 H.21						1							1
34	2010 H.22		1									1		2
計		0	3	7	7	7	11	7	9	11	4	4	2	72
月別発生率%		0.0	4.2	9.7	9.7	9.7	15.3	9.7	12.5	15.3	5.6	5.6	2.8	100
年別発回数		0.0	0.09	0.21	0.21	0.21	0.32	0.21	0.26	0.32	0.12	0.12	0.06	2.12
発生頻度(年おき)		0	11	5	5	5	3	5	4	3	8	8	17	
近年10年計		0	1	1	3	2	4	3	3	5	1	1	1	25
月別発生率%		0.0	4.0	4.0	12.0	8.0	16.0	12.0	12.0	20.0	4.0	4.0	4.0	100.0
年別発回数		0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.1	0.1	0.1	2.50
発生頻度(年おき)		0	10	10	3	5	3	3	3	2	10	10	10	

2) . 月別発生状況

表 - 6 を発生月別、かつ、総雨量別に整理し、表 - 7 に添付します。

1月を除く各月に発生履歴があります。

月別発生回数の多いのは3月～9月で、6月と9月が特に多くなっています。近年10年でも6月～9月が多くなっています。

総雨量の多い雨(300mm以上)は、6月～10月に発生しています。

全体の63.9%(46回)は、総雨量が100mm以上となります(5～9月に30回発生)。

全体の22.2%(16回)は、総雨量が200mm以上となります(9月には5回発生)。

全体の8.3%(6回)は、総雨量が300mm以上となります(9月には2回発生)。

以上より集中豪雨に対する警戒が必要な月は6月から10月と言えます。

月1回発生する確率は15.7%で、4～9月はその確率が高くなります。月2回以上発生する確率は低い(1.7%、一度発生した月で2回以上発生する確率は10.9%)。

発生確率計算表 総月数 408 月

発生頻度	発生月数	確率 %
月1回以上	64	15.7
月2回以上	7	1.7
月3回以上	1	0.2

発生月で2回以上発生確率 月数 64 月

発生頻度	発生月数	確率 %
月2回以上	7	10.9
月3回以上	1	1.6

表 - 7 . 集中豪雨月別発生回数表

月	月別回数		発生割合 (%)	発生率 (総雨量別月別)								
				100mm以上		200mm以上		300mm以上				
				回数	(%)	回数	(%)	回数	(%)			
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	3	(1)	4.2	3	(1)	100.0	-	-	-	-	-	-
3	7	(1)	9.7	2	(1)	28.6	-	-	-	-	-	-
4	7	(3)	9.7	3	-	42.9	-	-	-	-	-	-
5	7	(2)	9.7	5	(1)	71.4	1	-	14.3	-	-	-
6	11	(4)	15.3	7	(4)	63.6	2	(2)	18.2	1	(1)	9.1
7	7	(3)	9.7	3	(2)	42.9	2	-	28.6	1	-	14.3
8	9	(4)	12.5	8	(3)	88.9	3	(1)	33.3	1	(1)	11.1
9	11	(5)	15.3	7	(2)	63.6	5	(2)	45.5	2	(1)	18.2
10	4	(1)	5.6	2	-	50.0	2	-	50.0	1	-	25.0
11	4	(2)	5.6	4	(2)	100.0	1	(1)	25.0	-	-	-
12	2	(2)	2.8	2	(2)	100.0	-	-	-	-	-	-
計	72	(28)	100.0	46	(18)	63.9	16	(6)	22.2	6	(3)	8.3

()内数値は、近年10年間の値です。

2 - 4 . 1 降雨の総量とピーク時間雨量及び継続時間

表 - 1 の資料を雨量の多い順に整理したものを表 - 8 に添付します。表 - 8 にはピーク時間雨量と継続時間についても整理しました。これより次の傾向が読み取れます。

総雨量の多い雨10個のうち時間雨量も上位10位となる降雨が5 降雨有りますが、総雨量の少ないものも有ります。これより、時間雨量が大きい雨が総雨量も大きくなるとは言いきれないことが解ります。

総雨量の多い雨は、降雨継続時間が長い雨で発生しています(継続時間上位10降雨のうち7 降雨が総雨量上位10位以内(232.5mm以上)となり、残る3 降雨の総雨量も最小で136mm以上となっています。

表-8. 大雨注意発表降雨の総量とピーク時間雨量及び継続時間の状況表

総雨量の多い順							大雨注意報							
多い順	降雨No.	1降雨の雨量	ピーク時間雨量	多い順	時間	多い順	多い順	降雨No.	1降雨の雨量	ピーク時間雨量	多い順	時間	多い順	
1	44	514.0	74.0	5	20	2		37	23	131.0	65.0	9	4	43
2	65	496.5	75.0	3	30	1		38	72	127.0	51.5	28	6	34
3	60	403.5	64.5	10	10	8		39	18	118.0	46.0	39	5	35
4	42	398.5	73.5	6	9	11		40	15	112.0	52.0	25	7	23
5	56	382.0	53.5	22	9	14		41	27	109.5	54.5	20	4	44
6	29	305.5	38.0	61	16	3		42	28	106.5	38.5	60	5	36
7	12	284.0	53.0	23	15	4		43	36	106.5	39.5	58	4	47
8	16	254.0	41.0	49	14	5		44	39	104.5	60.0	13	5	37
9	41	236.5	74.0	4	6	30		45	59	100.5	34.5	65	4	49
10	51	232.5	34.0	67	10	7		46	71	100.5	43.5	42	4	51
11	17	218.0	98.0	1	9	9		47	50	99.5	31.5	70	6	31
12	30	215.0	42.0	46	8	18		48	8	99.0	33.0	68	4	41
13	58	214.5	48.5	34	7	27		49	48	99.0	52.0	26	2	66
14	46	210.5	71.5	7	8	19		50	52	97.0	55.0	19	5	39
15	37	209.5	30.0	72	7	26		51	64	95.5	40.5	52	6	33
16	32	206.0	87.0	2	4	46		52	35	94.0	40.0	56	3	56
17	55	192.5	40.0	57	8	20		53	61	92.5	31.5	71	3	58
18	70	185.5	52.0	27	5	40		54	31	92.0	62.5	11	4	45
19	7	182.0	49.0	32	6	15		55	26	83.5	47.0	35	1	55
20	19	170.0	71.0	8	7	24		56	43	79.0	45.0	41	3	57
21	13	163.0	60.0	12	8	16		57	9	77.0	54.0	21	2	61
22	22	160.0	40.0	55	8	16		58	53	76.5	58.5	14	1	71
23	57	159.0	39.0	59	8	21		59	4	76.0	55.0	18	3	52
24	45	156.5	36.0	63	9	12		60	14	73.0	40.0	54	4	42
25	40	150.5	56.5	16	2	65		61	62	69.0	41.5	47	3	59
26	49	146.5	47.0	36	9	13		62	69	68.0	55.5	17	2	68
27	25	146.0	51.0	29	7	25		63	20	66.0	42.0	44	3	54
28	47	142.5	37.5	62	5	38		64	33	64.5	41.0	50	2	64
29	6	142.0	34.0	66	10	6		65	5	63.0	49.0	31	3	53
30	11	141.0	43.0	43	7	22		66	10	56.0	49.0	33	2	62
31	34	141.0	53.0	24	6	29		67	63	56.0	41.0	51	2	67
32	67	138.5	50.0	30	4	50		68	3	55.0	46.0	38	1	70
33	66	137.0	57.0	15	7	28		69	68	55.0	47.0	37	1	72
34	24	136.0	32.0	69	9	10		70	21	54.0	42.0	45	2	63
35	54	134.0	35.5	64	6	32		71	1	50.0	40.0	53	2	60
36	38	133.5	45.5	38	4	48		72	2	46.0	41.0	46	1	69
								平均		151.2	49.3			6.1

2 - 5 . 集中豪雨のピーク位置

時間単位の降雨分布図(ハイトグラフ)を作成する場合、ピークの位置がどこにくるかは貯留を考える解析では重要な問題となります。この位置により、降雨分布図の呼び方も変わります(前方山形・中央山形・後方山形)。防災ダム計画では、後方山形(ピーク位置 $r = 0.8$)が採用されてきました。

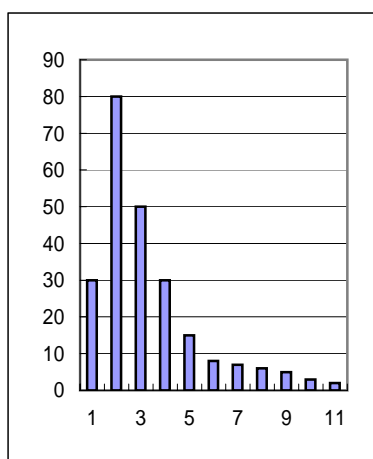
ここでは、表 - 1 に添付した集中豪雨がどの分布に当るかを把握します。表 - 1 のすべての降雨の平均をもとめたものが表 - 10です。これは、下記式で求めたピーク位置で、これによるとピークの位置は $r = 0.67$ (後方山形)となります。

$$\text{ピーク位置} = \frac{\text{雨の降りだしからの時間数}}{\text{降雨継続時間}}$$

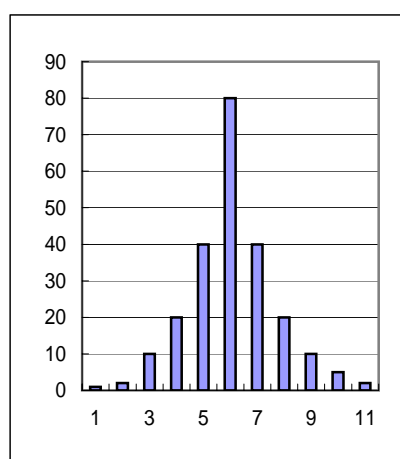
表 - 10のうちピーク時間雨量の大きい雨に絞って整理すると、表 - 9 のようになります。表 - 9 は、時間雨量の上位10個の平均を求めたもので、 $r = 0.66$ となります。一方、前方にピークがある2降雨(No.19,37)を除くと、 $r = 0.69$ (後方山形)となります。これらより、那覇の降雨は雨の降りだしからすると中盤から後半にかけてピークが発生すると言えます。

表 - 9 . ピーク到達割合算定表 那覇(ピークが大きい雨量)

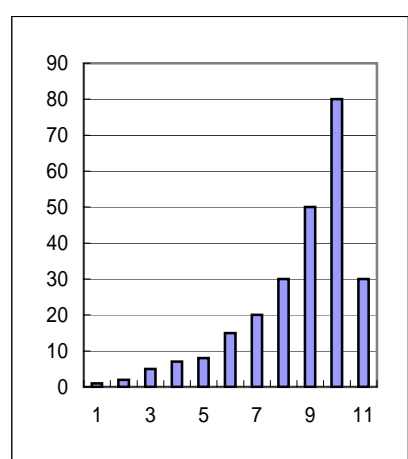
No	生起年	月	日	総雨量	ピーク時間雨量	降雨時刻		継続時間	ピーク時刻	始りからの時間数	ピーク到達割合	ピーク位置	
						始り	終り						
17	1985	S.60	8	12	209.0	98.0	4	12	9	11	8	0.89	後方
19	1986	S.61	9	24	163.0	71.0	10	16	7	11	2	0.29	前方
23	1987	S.62	8	9	131.0	65.0	11	14	4	13	3	0.75	後方
32	1992	H.4	10	11	200.5	87.0	19	22	4	19	1	0.25	前方
39	1998	H.10	2	18	99.5	60.0	8	12	5	12	5	1.00	後方
41			7	16	236.0	74.0	22	27	6	27	6	1.00	後方
44	1999	H.11	9	22	466.5	74.0	12	31	20	23	12	0.60	中央
46	2000	H.12	11	9	172.5	71.5	13	20	8	19	7	0.88	後方
60	2005	H.17	6	17	192.0	64.5	5	14	10	9	5	0.50	中央
65	2007	H.19	8	10	467.5	75.0	23	52	30	35	13	0.43	中央
平均				233.8	74.0			10.3			0.66		
平均				No.19と32を除く平均							0.69		



前方山型



中央山型



後方山型

表-10. ピーク位置算定表 観測

No	生起年	月	日	総雨量	ピーク時 間雨量	降雨時刻		継続 時間	ピーク 時刻	始まりから の時間数	ピーク位 置
						始まり	終り				
1	1977 S.52	6	6	49.0	40.0	19	20	2	19	1	0.50
2		3	4	41.0	41.0	6	6	1	6	1	1.00
3	1978 S.53	3	9	46.0	46.0	16	16	1	16	1	1.00
4		4	6	70.0	55.0	1	3	3	2	2	0.67
5		6	10	61.0	49.0	2	4	3	4	3	1.00
6	1979 S.54	8	22	131.0	34.0	24	33	10	27	4	0.40
7		11	1	160.0	49.0	20	27	8	25	6	0.75
8		3	13	80.0	33.0	4	7	4	5	2	0.50
9	1981 S.56	3	14	76.0	54.0	4	5	2	5	2	1.00
10		4	19	56.0	49.0	13	14	2	13	1	0.50
11	1982 S.57	6	2	136.0	43.0	22	28	7	27	6	0.86
12		9	23	243.0	53.0	10	24	15	11	2	0.13
13		3	12	156.0	60.0	4	11	8	7	4	0.50
14	1983 S.58	3	28	71.0	40.0	4	7	4	5	2	0.50
15		7	13	109.0	52.0	6	12	7	7	2	0.29
16	1984 S.59	8	19	243.0	41.0	14	27	14	23	10	0.71
17	1985 S.60	8	13	209.0	98.0	4	12	9	11	8	0.89
18		9	23	117.0	46.0	9	13	5	11	3	0.60
19	1986 S.61	9	24	163.0	71.0	10	16	7	11	2	0.29
20		5	20	63.0	42.0	24	26	3	25	2	0.67
21	1987 S.62	6	6	51.0	42.0	7	8	2	8	2	1.00
22		6	21	139.0	40.0	13	20	8	13	1	0.13
23		8	9	131.0	65.0	11	14	4	13	3	0.75
24		4	17	134.0	32.0	20	28	9	27	8	0.89
25	1988 S.63	5	1	142.0	51.0	14	20	7	15	2	0.29
26		6	22	47.0	47.0	24	24	1	24	1	1.00
27	1989 H.1	8	25	104.5	54.5	13	16	4	13	1	0.25
28	1990 H.2	5	10	94.5	38.5	11	15	5	12	2	0.40
29		7	27	258.5	38.0	19	34	16	28	10	0.63
30	1991 H.3	9	12	156.5	42.0	22	29	8	28	7	0.88
31		2	15	85.0	62.5	11	14	4	12	2	0.50
32	1992 H.4	10	11	200.5	87.0	19	22	4	19	1	0.25
33	1993 H.5	7	26	64.0	41.0	11	12	2	12	2	1.00
34	1994 H.6	5	28	104.5	53.0	24	29	6	25	2	0.33
35	1995 H.7	9	29	71.0	40.0	5	7	3	6	2	0.67
36	1995 H.7	11	7	101.0	39.5	4	7	4	7	4	1.00
平均											
				125.1	48.9			6.1			0.67
No	生起年	月	日	総雨量	ピーク時 間雨量	降雨時刻 始まり	降雨時刻 終り	継続 時間	ピーク 時刻	始まりから の時間数	ピーク位 置
37	1996 H.8	5	28	125.5	30.0	13	19	7	18	6	0.86
38	1997 H.9	4	14	69.0	45.5	2	5	4	4	3	0.75
39		2	18	99.5	60.0	8	12	5	12	5	1.00
40		6	5	77.5	56.5	10	11	2	10	1	0.50
41	1998 H.10	7	15	236.0	74.0	22	27	6	27	6	1.00
42		10	4	154.5	46.0	17	25	9	22	6	0.67
43		10	26	70.0	45.0	14	16	3	14	1	0.33
44	1999 H.11	9	22	466.5	74.0	12	31	20	23	12	0.60
45		8	1	142.0	36.0	11	19	9	17	7	0.78
46	2000 H.12	11	9	172.5	71.5	13	20	8	19	7	0.88
47		12	14	133.5	37.5	2	6	5	4	3	0.60
48		4	16	63.5	52.0	12	13	2	13	2	1.00
49		5	13	137.5	47.0	4	12	9	12	9	1.00
50		8	13	99.5	31.5	14	19	6	15	2	0.33
51	2001 H.13	9	11	134.5	34.0	23	32	10	31	9	0.90
52		9	25	88.5	55.0	14	18	5	16	3	0.60
53		9	26	58.5	58.5	20	20	1	20	1	1.00
54		6	15	125.0	35.5	16	21	6	18	3	0.50
55	2002 H.14	7	14	182.5	40.0	21	28	8	25	5	0.63
56		9	4	182.0	47.5	6	14	9	7	2	0.22
57	2003 H.15	8	6	120.5	39.0	24	31	8	30	7	0.88
58		6	8	164.5	48.5	14	20	7	18	5	0.71
59	2004 H.16	7	9	90.5	34.5	22	25	4	23	2	0.50
60	2005 H.17	6	17	192.0	64.5	5	14	10	9	5	0.50
61		4	11	80.5	31.5	8	10	3	10	3	1.00
62	2006 H.18	5	31	57.5	41.5	12	14	3	14	3	1.00
63		9	3	49.0	41.0	6	7	2	6	1	0.50
64		4	18	92.0	40.5	5	10	6	10	6	1.00
65	2007 H.19	8	10	467.5	75.0	23	52	30	35	13	0.43
66		12	21	131.0	57.0	16	22	7	19	4	0.57
67		3	30	127.0	50.0	6	9	4	6	1	0.25
68	2008 H.20	7	13	47.0	47.0	16	16	1	16	1	1.00
69		10	10	67.5	55.5	12	13	2	13	2	1.00
70	2009 H.21	6	15	131.0	52.0	2	6	5	4	3	0.60
71		2	15	84.0	43.5	1	4	4	2	2	0.50
72	2010 H.22	11	13	126.0	51.5	12	17	6	15	4	0.67
				125.1	48.9			6.1			0.67

2-6. 総雨量

一般的に被害をもたらす降雨は「時間雨量が多いだけでなく続けて降る雨」と考えられます。また、集中豪雨が発生した月は、「その月の総雨量も多いはずである」との観点から月合計雨量についても整理しました(表-11参照、図-5参照)。

1). 月合計と年合計雨量

月合計雨量(34年間の平均)が200mmを越えた月は5月・6月・8月・9月の4ヶ月です。近年10年でみると6月と9月の2ヶ月は300mmを越えています。8月は減少傾向です。月合計雨量が500mmを越えた月が9ヶ月あります。このうち7ヶ月は、平成10年以降で発生しています。

年合計雨量(34年間の平均)は2043mm(近年10年では2127mm)となり、近年の増加傾向を示しています。平成9年までの平均1905mmに対し、平成10年以降の平均は2265mmとなり、平成10年以降の増加が解ります。

「雨が多い年」を年平均雨量を越えた年とするならば、少ない年と多い年は連続していることが判ります。

平成5年から9年までの5年間・・・少ない年

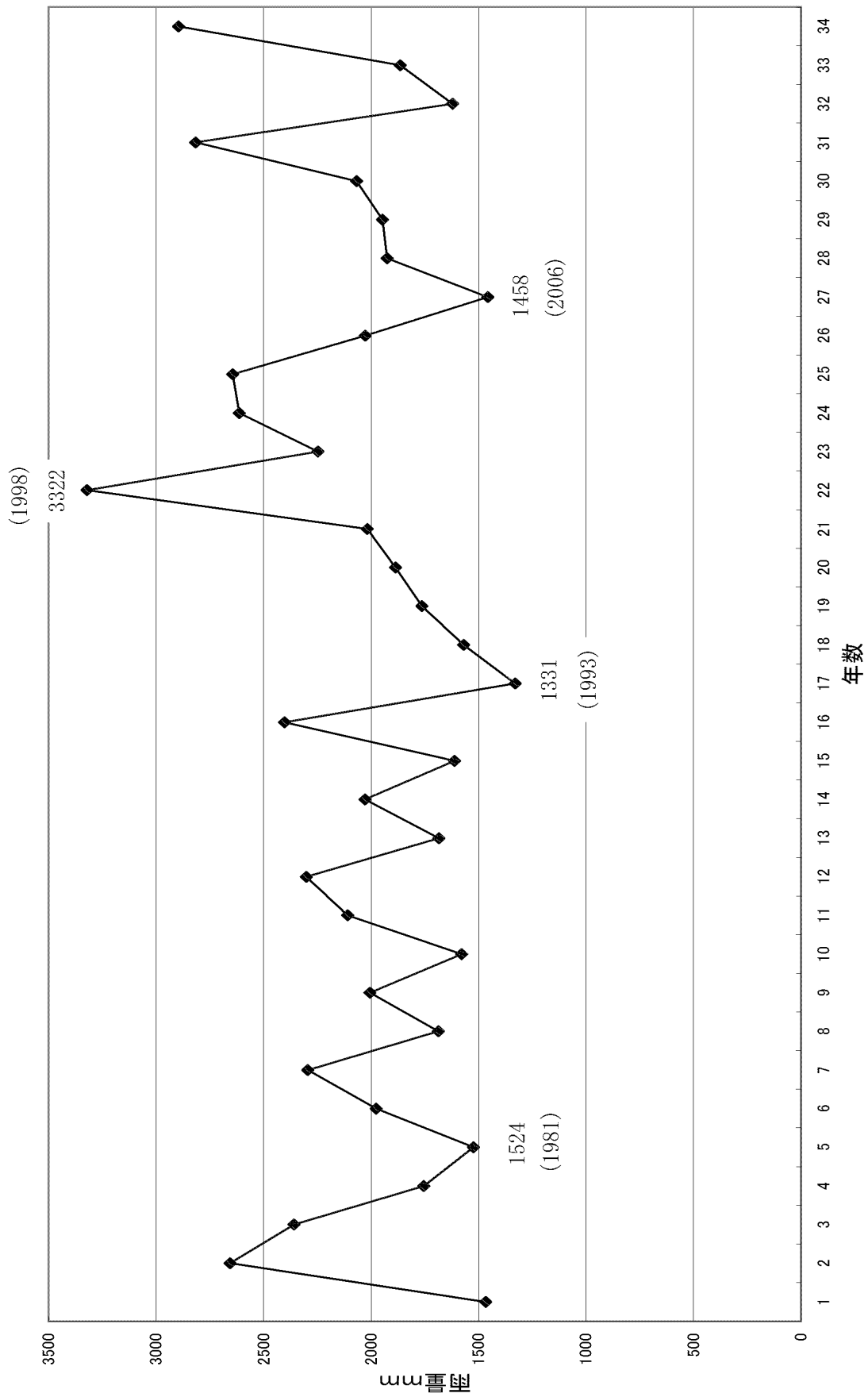
平成10年から14年までの5年間・・・多い年

平成15年から17年までの3年間・・・少ない年

表-11. 月別降水量 (mm)

年数	生記年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
1	1977 S.52	144.0	43.5	62.5	48.0	64.5	289.0	100.0	145.5	243.0	59.5	150.0	117.5	1467.0
2	1978 S.53	112.0	76.5	267.5	281.5	234.5	250.0	315.0	515.0	164.5	288.5	26.0	115.5	2656.5
3	1979 S.54	109.0	121.5	178.5	273.0	218.5	228.0	91.5	406.0	127.0	272.0	262.5	72.0	2359.5
4	1980 S.55	118.5	107.5	105.5	525.0	97.0	20.0	101.5	89.5	154.0	203.0	197.5	38.0	1755.0
5	1981 S.56	52.0	66.5	376.0	93.0	198.0	43.0	167.5	181.0	62.0	137.5	71.0	76.5	1524.0
6	1982 S.57	68.0	140.0	98.0	123.5	268.5	269.0	86.0	195.5	299.5	49.0	199.0	180.5	1976.5
7	1983 S.58	163.5	176.5	420.0	143.5	261.5	161.0	220.0	288.5	384.5	25.5	5.0	44.5	2284.0
8	1984 S.59	111.5	42.0	205.5	145.0	215.5	97.5	97.5	403.0	96.5	84.0	119.0	71.0	1688.0
9	1985 S.60	46.0	281.0	64.0	152.5	152.0	181.0	107.5	479.5	140.0	90.0	91.0	221.0	2005.5
10	1986 S.61	105.0	65.5	227.5	101.5	137.5	120.5	51.5	233.0	350.0	51.0	120.5	15.5	1579.0
11	1987 S.62	157.0	64.5	135.5	84.0	287.0	430.5	42.5	402.5	62.5	162.0	174.0	107.0	2109.0
12	1988 S.63	195.5	169.0	175.0	343.5	476.0	162.5	21.0	343.0	91.0	275.0	49.5	1.0	2302.0
13	1989 H.1	137.0	19.5	91.5	187.5	289.0	159.0	77.5	343.5	147.0	7.0	138.5	78.0	1685.0
14	1990 H.2	126.0	201.0	60.5	357.0	209.0	310.0	34.5	164.0	159.0	197.5	140.0	70.0	2028.5
15	1991 H.3	111.0	83.0	142.0	124.0	12.5	43.5	354.0	62.5	484.0	118.5	45.0	31.5	1611.5
16	1992 H.4	138.5	259.0	268.0	244.5	114.5	292.0	67.5	442.5	127.0	227.0	126.5	95.5	2402.5
17	1993 H.5	100.0	72.5	82.0	55.5	258.0	113.0	171.5	41.0	185.5	83.5	143.0	25.0	1330.5
18	1994 H.6	115.0	111.0	156.5	44.5	391.0	139.0	96.0	133.5	55.5	200.5	64.5	63.0	1570.0
19	1995 H.7	64.0	83.0	332.5	49.0	206.5	269.5	96.5	130.0	227.0	128.5	148.5	28.0	1763.0
20	1996 H.8	58.0	123.0	231.0	183.0	394.0	103.0	43.0	294.0	237.0	121.0	39.5	60.0	1886.5
21	1997 H.9	97.0	106.0	80.5	235.5	214.0	334.5	25.5	462.0	103.5	77.0	161.5	121.0	2018.0
22	1998 H.10	167.5	335.5	166.5	226.5	286.5	378.5	334.5	131.0	268.5	689.0	164.0	173.0	3322.0
23	1999 H.11	114.0	48.0	185.0	160.5	172.5	123.5	237.0	211.0	693.5	67.5	66.5	158.5	2247.5
24	2000 H.12	87.0	149.0	118.5	394.0	66.5	186.5	367.5	279.5	317.0	95.0	292.5	260.0	2613.0
25	2001 H.13	118.5	37.5	98.0	235.5	478.5	151.5	50.5	200.0	1095.5	55.0	3.5	122.0	2644.0
26	2002 H.14	39.0	52.5	93.0	61.5	125.0	290.5	445.0	21.5	511.0	201.0	28.5	158.5	2027.0
27	2003 H.15	60.5	27.0	70.0	112.5	130.5	222.0	13.5	245.0	219.0	177.5	120.0	60.0	1457.5
28	2004 H.16	140.0	100.0	106.0	64.0	105.0	383.5	192.5	160.0	375.0	151.5	68.5	70.0	1926.0
29	2005 H.17	69.5	172.0	169.5	98.5	175.5	860.5	6.5	112.0	64.0	60.0	48.0	111.5	1947.5
30	2006 H.18	191.5	101.5	113.0	305.0	333.5	333.5	114.0	142.0	135.5	39.0	116.5	143.0	2068.0
31	2007 H.19	184.5	67.5	116.5	225.0	101.5	472.0	229.0	594.0	440.5	78.0	104.0	204.0	2816.5
32	2008 H.20	70.0	123.0	245.5	69.0	118.5	152.5	82.5	139.5	267.5	214.5	119.0	19.5	1621.0
33	2009 H.21	32.5	37.0	165.5	132.5	185.0	402.0	62.0	98.0	23.0	356.0	145.5	225.5	1864.5
34	2010 H.22	90.0	276.5	41.5	219.0	574.5	220.5	348.5	281.5	193.0	368.0	194.0	88.5	2895.5
平均雨量		108.6	115.9	160.5	179.4	222.4	241.3	142.7	246.2	250.1	159.4	116.0	100.8	2043.0
近年10年計		99.6	99.5	121.7	152.3	232.8	349.9	154.4	199.4	332.4	170.1	94.8	120.3	2126.8

图一5. 年間雨量分布图



2) . 月合計と豪雨の関係

月別雨量(表 - 11)の上位20降雨と集中豪雨(表 - 8)の関係を整理したものを表 - 12に添付します。これより次の傾向を読み取ることができます。

月合計雨量が500mmを越えた月は過去34年間のうち9ヶ月あります。2001年9月は1000mmを超えるような大雨でした。上位24位までが400mmを超えていました。

月合計上位20ヶ月のうち、集中豪雨(大雨注意報発令)が発生している月は14ヶ月(70%)です。このうち、月2回以上発生した月が4ヶ月含まれています。

表 - 12. 月総雨量と集中豪雨との関係

月合計雨量				大雨注意報			ピーク時間雨量		
多い順	生	起	年 月	月合計雨量	降雨No.	1降雨の総量	多い順	時間雨量	多い順
1	2001	H.13	9	1095.5	51	232.5	10	34.0	67
					52	97.0	52	55.0	19
					53	76.5	53	58.5	14
2	2005	H.17	6	860.5	60	403.5	3	64.5	10
3	1999	H.11	9	693.5	44	514.0	1	74.0	5
4	1998	H.10	10	689.0	42	398.5	4	73.5	6
					43	79.0	56	45.0	41
5	2007	H.19	8	594.0	65	496.5	2	75.0	3
6	2010	H.22	5	574.5	-	-	-	-	-
7	1980	S.55	4	525.0	-	-	-	-	-
8	1978	S.53	8	515.0	-	-	-	-	-
9	2002	H.14	9	511.0	56	382.0	5	53.5	22
10	1991	H.03	9	484.0	30	215.0	12	42.0	46
11	1985	S.60	8	479.5	17	218.0	11	98.0	1
12	2001	H.13	5	478.5	49	146.5	26	47.0	36
13	1988	S.63	5	476.0	25	146.0	27	51.0	29
14	2007	H.19	6	472.0	-	-	-	-	-
15	1997	H.09	8	462.0	-	-	-	-	-
16	2002	H.14	7	445.0	55	192.5	17	40.0	57
17	1992	H.04	8	442.5	-	-	-	-	-
18	2007	H.19	9	440.5	65	496.5	2	75.0	3
19	1987	S.62	6	430.5	21	54.0	70	42.0	45
					22	160.0	22	40.0	55
20	1983	S.58	3	420.0	13	163.0	21	60.0	12
					14	73.0	60	40.0	54
平均				554.4		239.2		56.2	

3. 那覇と近傍観測所との比較

1) . 集中豪雨の発生日

那覇・系数・読谷・胡屋の各観測所の資料で集中豪雨の日にちを抽出し、表 - 14に添付します。これを同時に観測した回数で整理して表 - 13に添付します。

発生件数は、那覇、胡屋、系数、読谷の順となります。

那覇と同じ日に発生した回数は系数(28回)と胡屋(26回)が多くなっています。

集中豪雨の総雨量・ピーク時間雨量・降雨継続時間の上位10位と同時に発生した個数など総合的に数値を計上すると系数47個、胡屋44個・読谷25個となり(表-13(6)参照)、那覇の集中豪雨は系数・胡屋との関係があり、読谷(25個)との関係は薄いと判断できます。

表 - 13(1) . 集中豪雨の回数 (資料年数34年)

観測所名	那 覇	系 数	胡 屋	読 谷
発生回数	72	62	67	60
年平均	2.12	1.82	1.97	1.76

表 - 13(2) . 同時に発生した回数

観測所名	那 覇	系 数	胡 屋	読 谷
那 覇		28	26	14
系 数	28		16	7
胡 屋	26	16		18
読 谷	14	7	18	

表 - 13(3) . 那覇の集中豪雨の総雨量上位10降雨と同時に発生した観測所

那覇集中豪雨総雨量				系 数	胡 屋	読 谷
順位	総雨量	発 生 年 月 日				
1	514.0	1999	9月22日			
2	496.5	2007	8月10日			
3	403.5	2005	6月15日			
4	398.5	1998	10月4日			-
5	382.0	2002	9月4日	-		
6	305.5	1991	7月27日	-	-	
7	284.0	1982	9月23日	-	-	-
8	254.0	1984	8月19日			-
9	236.5	1998	7月16日		-	-
10	232.5	2001	9月11日	-	-	-
個 数				6	6	6

表 - 13(4) . 那覇の集中豪雨のピーク時間雨量上位10降雨と同時に発生した観測所

那覇ピーク時間雨量				糸 数	胡 屋	読 谷
順位	時間雨量	発 生 年 月 日				
1	98.0	1985	8月13日			-
2	87.0	1992	10月11日	-	-	-
3	75.0	2007	8月10日			
4	74.0	1998	7月16日		-	-
5	74.0	1999	9月22日			
6	73.5	1998	10月4日			-
7	71.5	2000	11月9日			-
8	71.0	1986	9月23日			-
9	65.0	1987	8月9日	-	-	-
10	64.5	2005	6月15日			
個 数				8	7	3

表 - 13(5) . 那覇の集中豪雨の降雨継続時間上位10降雨と同時に発生した観測所

那覇降雨継続時間				糸 数	胡 屋	読 谷
順位	継続時間	発 生 年 月 日				
1	30	2007	8月10日			
2	20	1999	9月22日			
3	16	1991	7月27日	-	-	
4	15	1982	9月23日	-	-	-
5	14	1984	8月19日			-
6	10	1979	8月22日	-	-	-
7	10	2001	9月11日	-	-	-
8	10	2005	6月17日			-
9	9	1985	8月13日			-
10	9	1988	4月17日	-	-	-
個 数				5	5	3

表 - 13(6) . 那覇の集中豪雨の上位10降雨と同時に発生した個数計

項 目	糸 数	胡 屋	読 谷
総 雨 量	6	6	6
ピ ー ク 時 間 雨 量	8	7	3
降 雨 継 続 時 間	5	5	3
計	19	18	12
同 時 に 発 生 し た 個 数	28	26	14
合 計	47	44	26

表-14. 集中豪雨の発生日

年数	発 生 年	郡 瀬		糸 敷		胡 屋		読 谷	
		回数	発 生 日	回数	発 生 日	回数	発 生 日	回数	発 生 日
1	1977 S.52	1	8月8日	1	8月21日	2	8月2日、8月21日	2	8月2日、11月16日
2	1978 H.53	3	3月4日、3月9日、4月6日	1	8月15日	4	3月4日、3月9日、5月14日、8月15日	5	3月9日、5月3日、5月14日、9月8日、9月21日
3	1979 S.54	3	6月11日、8月22日、11月2日	1	11月2日	3	4月26日、7月23日、8月26日	0	-
4	1980 S.55	0	-	0	-	2	8月18日、11月7日	2	10月20日、11月19日
5	1981 S.56	3	3月12日、3月14日、4月19日	3	3月12日、3月14日、3月18日	0	-	0	-
6	1982 H.57	2	6月2日、9月23日	6	2月23日、3月11日、5月2日、5月3日、6月2日	1	8月3日	0	-
7	1983 S.58	3	3月12日、3月28日、7月13日	3	1月30日、3月12日、7月13日	2	3月12日、9月22日	2	7月16日、8月25日
8	1984 H.59	1	8月19日	4	3月18日、4月19日、5月14日、8月19日	2	5月16日、8月19日	1	8月3日
9	1985 S.60	1	8月13日	1	8月13日	3	5月28日、6月13日、10月29日	3	3月27日、5月28日、12月5日
10	1986 S.61	2	9月23日、9月24日	1	9月24日	1	9月23日	1	4月19日
11	1987 H.62	4	5月21日、6月8日、6月21日、8月9日	2	6月8日、6月21日	2	5月17日、6月21日	2	6月21日、8月29日
12	1988 S.63	2	4月17日、5月1日	2	2月6日、8月16日	2	5月1日、9月7日	1	5月1日
13	1989 H.1	2	6月22日、8月25日	1	5月2日	0	-	2	5月18日、8月16日
14	1990 H.2	1	5月10日	1	5月10日	3	4月12日、5月10日、6月18日	3	4月30日、5月10日、5月12日
15	1991 H.3	2	7月27日、9月13日	0	-	3	2月13日、3月22日、9月13日	4	2月13日、4月6日、6月28日、7月27日
16	1992 H.4	2	2月15日、10月11日	1	3月29日	2	6月9日、6月13日	0	-
17	1993 H.5	1	7月26日	0	-	1	7月9日	1	7月2日
18	1994 H.6	1	5月26日	0	-	2	5月31日、10月25日	2	5月31日、9月6日
19	1995 H.7	2	9月29日、11月7日	3	6月1日、10月19日、11月7日	1	10月19日	1	3月30日
20	1996 H.8	1	5月28日	2	8月13日、12月16日	3	3月20日、5月28日、8月13日	2	9月25日、9月26日
21	1997 H.9	1	4月14日	2	8月14日、8月7日	2	4月14日、12月22日	2	4月14日、8月7日
22	1998 H.10	5	2月18日、6月4日、7月16日、10月4日、10月24日	5	2月18日、4月21日、7月16日、9月29日、10月4日	4	2月18日、6月4日、10月4日、10月26日	2	2月16日、6月12日
23	1999 H.11	1	9月22日	1	9月22日	3	4月22日、7月6日、9月22日	3	4月22日、8月2日、9月22日
24	2000 H.12	3	6月1日、11月9日、12月13日	4	7月29日、8月1日、11月9日、12月13日	3	4月14日、10月6日、11月9日	2	4月14日、8月12日
25	2001 H.13	6	4月17日、5月14日、8月13日、9月11日、9月25日、9月26日	2	9月25日、9月26日	1	9月7日	1	9月28日
26	2002 H.14	3	8月15日、7月14日、9月4日	1	7月14日	4	6月15日、7月14日、9月4日、9月5日	2	7月14日、9月4日
27	2003 H.15	1	8月8日	2	9月19日、10月7日	1	8月9日	0	-
28	2004 H.16	2	6月9日、7月9日	0	-	0	-	4	8月8日、6月9日、7月4日、8月3日
29	2005 H.17	1	6月17日	1	6月17日	2	6月15日、6月17日	2	6月12日、8月15日
30	2006 H.18	3	4月11日、5月31日、9月3日	0	-	2	1月12日、8月6日	2	8月8日、12月7日
31	2007 H.19	3	4月18日、8月10日、12月21日	7	4月18日、6月7日、6月12日、6月17日、8月10日、9月9日、12月21日	2	7月13日、8月10日	2	7月14日、8月10日
32	2008 H.20	3	3月30日、7月13日、10月10日	1	9月22日	2	3月30日、9月14日	1	11月8日
33	2009 H.21	1	6月14日	1	12月15日	1	6月14日	1	6月14日
34	2010 H.22	2	2月15日、11月13日	3	5月10日、8月15日、11月13日	1	5月15日	2	2月15日、5月29日
計		72		62		67		60	

同時に発生した回数

観測所名	郡 瀬	糸 敷	胡 屋	読 谷
郡 瀬	-	26	26	14
糸 敷	26	-	16	7
胡 屋	26	16	-	18
読 谷	14	7	18	-

2) . 那覇と胡屋が同時に集中豪雨となった場合の状況

那覇と胡屋が同時に集中豪雨になった場合の状況表を表 - 15に添付します。

同時に発生すれば、総雨量が多くなります(23降雨が100mm以上、6降雨が上位10位以内(200mm以上)となります)。言い換えるならば、「那覇と胡屋に同時に集中豪雨が発生すると被害を及ぼすような大雨となる」と言えます。

全体26回のうち14回は平成10年以降で発生しています。

総雨量で那覇が大きい(那覇の平均206.7mm、胡屋の平均163.3mm)。

ピーク時間雨量も若干那覇の方が大きい(那覇の平均52.7mm,胡屋の平均47.8mm)。

継続時間はほぼ同じ(那覇の平均7.7時間,胡屋の平均7.6時間)。

表 - 15. 同時に発生した場合の降雨状況表

件数 No.	発生年		月日	那 覇				胡 屋			
				総雨量		時間雨量	継続時間	総雨量		時間雨量	継続時間
				雨量	順位			雨量	順位		
1	1978	S.53	3月4日	46.0	70	41.0	1	71.0	54	42.0	3
2			3月9日	55.0	66	46.0	1	68.0	55	46.0	2
3	1983	S.58	3月12日	163.0	21	60.0	8	133.0	29	44.0	9
4	1984	S.59	8月19日	254.0	8	41.0	14	325.0	3	41.0	15
5	1985	S.60	8月13日	218.0	11	98.0	9	202.0	9	86.0	11
6	1986	S.61	9月23日	118.0	38	46.0	5	137.0	28	57.0	4
7	1987	S.62	6月21日	160.0	22	40.0	8	175.0	16	49.0	10
8	1988	S.63	5月1日	146.0	27	51.0	7	128.0	31	48.0	8
9	1990	H.2	5月10日	106.5	42	38.5	5	143.0	24	73.0	5
10	1991	H.3	9月13日	215.0	12	42.0	8	73.0	53	42.0	5
11	1996	H.8	5月28日	209.5	15	30.0	7	225.0	7	40.0	6
12	1997	H.9	4月14日	133.5	36	45.5	4	141.0	26	49.0	5
13	1998	H.10	2月18日	104.5	43	60.0	5	126.0	33	37.0	5
14			6月5日	150.5	25	56.5	2	132.0	30	43.0	5
15			10月4日	398.5	4	73.5	9	274.0	5	40.0	11
16			10月26日	79.0	52	45.0	3	97.0	45	46.0	4
17	1999	H.11	9月22日	514.0	1	74.0	20	247.0	6	31.0	16
18	2000	H.12	11月9日	210.5	14	71.5	5	192.0	11	43.0	14
19	2002	H.14	6月15日	134.0	35	35.5	6	179.0	13	60.0	8
20			7月14日	192.5	17	40.0	8	176.0	15	44.0	8
21			9月4日	382.0	5	53.5	9	128.0	32	38.0	7
22	2003	H.15	8月6日	159.0	23	39.0	8	165.0	19	61.0	8
23	2005	H.17	6月15日	403.5	3	64.5	10	158.0	20	47.0	6
24	2007	H.19	8月10日	496.5	2	75.0	30	324.0	4	50.0	14
25	2008	H.20	3月30日	138.5	32	50.0	4	124.5	34	46.5	5
26	2009	H.21	6月14日	185.5	18	52.0	5	101.5	42	39.5	4
平均				206.7	24.7	52.7	7.7	163.3	24.8	47.8	7.6

3) . 那覇と近傍観測所の確率雨量

那覇、名護、糸数、胡屋、読谷の確率雨量計算を行い、下表に添付します。表 - 16は長期の資料より把握したもので、表 - 17は近年34年間の資料より算定したものです。

那覇の値が最も大きくなります(50年確率日雨量で70mm以上、時間雨量でも20mm以上大きい、表 - 17(1)参照)。

那覇は、長期の資料で算定するよりも近年34年間の資料とした方が大きくなります(時間雨量と10分間雨量)。名護は、逆に小さくなります(表 - 16と表 - 17(1)の比較より)。

表 - 16. 那覇と名護の確率雨量計算結果表

確率年	日 雨 量		時 間 雨 量		10 分 間 雨 量	
	那 覇	名 護	那 覇	名 護	那 覇	名 護
既往最大	468.9	458.0	110.5	108.5	29.5	30.0
200	442.6	430.3	122.2	116.8	31.9	32.4
100	403.3	388.4	113.7	107.0	30.4	30.4
50	364.3	347.3	105.2	97.5	28.7	28.4
30	335.7	317.6	98.8	90.5	27.5	27.0
20	312.8	294.1	93.6	85.0	26.5	25.8
10	273.3	254.0	84.5	75.6	24.6	23.7

那覇資料は、1953(S.28)から2010(H.22)まで(58年間)によるものです。

名護資料は、1967(S.42)から2010(H.22)まで(44年間)によるものです。

表 - 17(1). 那覇と名護の確率雨量計算結果表

確率年	日 雨 量		時 間 雨 量		10 分 間 雨 量	
	那 覇	名 護	那 覇	名 護	那 覇	名 護
既往最大	427.5	274.5	110.5	90.5	29.5	25.5
200	441.8	342.0	131.9	94.4	33.8	27.6
100	403.5	317.2	121.2	88.6	32.0	26.4
50	365.4	291.9	110.6	82.7	30.2	25.1
30	337.4	272.8	103.0	78.2	28.8	24.1
20	315.0	257.3	96.9	74.6	27.7	23.3
10	276.1	229.6	86.6	68.1	25.7	21.9

資料は、1977(S.52)から2010(H.22)まで(34年間)によるものです。

表 - 17(2) 日雨量の確率雨量計算結果表

確率年	那 覇	名 護	糸 数	胡 屋	読 谷
既往最大	427.5	274.5	293.0	294.0	246.0
200	441.8	342.0	296.3	360.7	282.8
100	403.5	317.2	278.9	332.6	267.1
50	365.4	291.9	260.6	304.5	250.4
30	337.4	272.8	246.4	283.7	237.6
20	315.0	257.3	234.6	267.0	226.9
10	276.1	229.6	212.6	237.9	207.3

表 - 17(3) 時間雨量の確率雨量計算結果表

確率年	那 覇	名 護	係 数	胡 屋	読 谷
既往最大	110.5	90.5	110.0	105.0	66.0
200	131.9	94.4	115.5	123.1	89.6
100	121.2	88.6	105.2	111.1	84.3
50	110.6	82.7	95.0	99.8	78.9
30	103.0	78.2	87.7	91.8	74.7
20	96.9	74.6	81.9	85.7	71.4
10	86.6	68.1	71.9	75.5	65.3

表 - 17(4) 10分間雨量の確率雨量計算結果表

確率年	那 覇	名 護	係 数	胡 屋	読 谷
既往最大	29.5	25.5			
200	33.8	27.6	29.4	26.8	26.1
100	32.0	26.4	27.7	26.0	25.1
50	30.2	25.1	25.9	25.0	23.9
30	28.8	24.1	24.5	24.3	23.0
20	27.7	23.3	23.4	23.7	22.3
10	25.7	21.9	21.1	22.2	21.0

*) 系数・胡屋の10分間雨量は、那覇の特性係数より求めたものです。

*) 読谷の10分間雨量は、名護の特性係数より求めたものです。

4 . ハイエトグラフ(雨量分付図)

貯留効果を期待した防災計画(防災ダムや洪水調節池など)では、ハイエトグラフは重要な要素となります。本項においては、文献による分布図の作り方と那覇の降雨特徴を考慮した分布図について紹介します。

4 - 1 . 文献による雨量分布図

近年では雨量分布図の作成方法を記載した文献が見られないようです。よって、昭和の時代に私が経験した降雨分布図の作り方を紹介します。これは、「応用水文統計学」(現在廃版)に説明されているもので、20年前の防災ダム計画では通常に採用されていたものです。また、当時の大きな台風(枕崎台風や伊勢湾台風など)の降雨分布(後方八割、 $r = 0.8$)を考慮したもので、防災ダムの計画降雨とも呼ばれていたものです。

作成するための基準雨量は確率計算の日雨量と時間雨量であり、以下に那覇の50年確率の雨量分布図の作り方について説明します。

1) 長時間降雨強度式

日雨量 (那覇の50年確率)

$$R_{50}^{24} = 365.4 \text{ mm/日}$$

1時間雨量 (那覇の50年確率)

$$R_{50}^1 = 110.6 \text{ mm/hr}$$

特性係数值

$$C_{50}^1 = \frac{24 \times R_{50}^1}{R_{50}^{24}} = \frac{24 \times 110.6}{365.4} = 7.26$$

特性係数式

$$C_{50}^t = \frac{a}{t + b} \quad (\text{タルボット式に限定、シャーマン式と石黒式は適用外})$$

a, b : 係数 t : 時間

係数 a, b は、 $t = 1$ のとき $C_{50}^1 = 7.26$ $t = 24$ のとき $C_{50}^{24} = 1.0$ より求める。

$$C_{50}^1 = \frac{a}{1 + b} = 7.26 \implies a = 7.26 + 7.26 \times b \quad (1)$$

$$C_{50}^{24} = \frac{a}{24 + b} = 1.00 \implies a = 24 + b \quad (2)$$

(1)、(2)式より

$$7.26 + 7.26 \times b = 24 + b$$

$$b = \frac{24 - 7.26}{7.26 - 1} = 2.67$$

(2)式より

$$a = 24 + b = 24 + 2.67 = 26.67$$

以上より特性係数式 C_{50}^t は次のとおりとなります。

$$C_{50}^t = \frac{26.67}{t + 2.67}$$

長時間降雨強度式 I_{50}^t

$$\begin{aligned} I_{50}^t &= C_{50}^t \times R_{50}^{24} \\ &= \frac{26.67}{t + 2.67} \times 365.4 \\ &= \frac{9,745.2}{t + 2.67} \end{aligned}$$

2) ピーク前の降雨強度式

$$I = a \times b \times r^2 \times \left(\frac{1}{t_1 + b \times r} - \frac{1}{t_2 + b \times r} \right)$$

a, b : 長時間降雨強度式の係数

$$a = 9,745.2 \quad b = 2.67$$

r : ピーク時の位置 (後方8割の場合 r = 0.8)

t₁ : 降雨強度を求める時の初めの時刻

t₂ : 降雨強度を求める時の終わりの時刻

$$a \cdot b \cdot r^2 = 9,745.2 \times 2.67 \times 0.8^2 = 16,652.6$$

$$b \cdot r = 2.67 \times 0.8 = 2.14$$

$$I = 16,652.6 \times \left(\frac{1}{t_1 + 2.14} - \frac{1}{t_2 + 2.14} \right)$$

t₁ = 0, t₂ = 0.8の場合

$$I = 16,652.6 \times \left(\frac{1}{0 + 2.14} - \frac{1}{0.8 + 2.14} \right) = 2,117.4 \quad (\text{mm/24hr})$$

$$\text{時間雨量 } r = 2,117.4 / 24 = 88.2 \text{ mm/hr}$$

t₁ = 0.8, t₂ = 1.8の場合

$$I = 16,652.6 \times \left(\frac{1}{0.8 + 2.14} - \frac{1}{1.8 + 2.14} \right) = 1,437.6 \quad (\text{mm/24hr})$$

$$\text{時間雨量 } r = 1,437.6 / 24 = 59.9 \text{ mm/hr}$$

3) ピーク後の降雨強度式

$$I = a \times b \times (1 - r)^2 \times \left(\frac{1}{t_1 + b \times (1 - r)} - \frac{1}{t_2 + b \times (1 - r)} \right)$$

係数はピーク前に同じ。ただし、t₁, t₂は次のとおりとなる。

t₁ : 降雨強度を求める時の初めの時刻 0, 0.2, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2

t₂ : 降雨強度を求める時の終わりの時刻 0.2, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2, 5.2

$$a \cdot b \cdot (1 - r)^2 = 9,745.2 \times 2.67 \times 0.2^2 = 1,040.8$$

$$b \cdot (1 - r) = 2.67 \times 0.2 = 0.53$$

$$I = 1,040.8 \times \left(\frac{1}{t_1 + 0.53} - \frac{1}{t_2 + 0.53} \right)$$

t₁ = 0, t₂ = 0.2の場合

$$I = 1,040.8 \times \left(\frac{1}{0 + 0.53} - \frac{1}{0.2 + 0.53} \right) = 538.0 \quad (\text{mm/24hr})$$

$$\text{時間雨量 } r = 538.0 / 24 = 22.4 \text{ mm/hr}$$

ピーク前の時間雨量88.2(mm/hr)を加えて、110.6(mm/hr)となる。

これは、確率計算結果の50年確率の時間雨量値と一致するものであり、本法の算定が妥当であることの証明となります。

t₁ = 0.2, t₂ = 1.2の場合

$$I = 1,040.8 \times \left(\frac{1}{0.2 + 0.53} - \frac{1}{1.2 + 0.53} \right) = 824.1 \quad (\text{mm/24hr})$$

$$\text{時間雨量 } r = 824.1 / 24 = 34.3 \text{ mm/hr}$$

以下、同様な算定で降雨分布を作成します(表 - 18参照)。表 - 18から解るように時間雨量110.6mmと日雨量365.4mmが一致していることがポイントになります。

表 -18 ハイエットグラフの作成表

時刻	ピーク前の時間		ピーク後の時間		降雨強度 (mm/24hr)	時間雨量 (mm/hr)
	t ₁	~ t ₂	t ₁	~ t ₂		
1	17.8	~ 18.8			39.88	1.7
2	16.8	~ 17.8			44.09	1.8
3	15.8	~ 16.8			49.01	2.0
4	14.8	~ 15.8			54.80	2.3
5	13.8	~ 14.8			61.67	2.6
6	12.8	~ 13.8			69.93	3.0
7	11.8	~ 12.8			79.96	3.3
8	10.8	~ 11.8			92.32	3.9
9	9.8	~ 10.8			107.78	4.5
10	8.8	~ 9.8			127.49	5.3
11	7.8	~ 8.8			153.14	6.4
12	6.8	~ 7.8			187.40	7.8
13	5.8	~ 6.8			234.60	9.8
14	4.8	~ 5.8			302.21	12.6
15	3.8	~ 4.8			403.96	16.8
16	2.8	~ 3.8			567.50	23.6
17	1.8	~ 2.8			855.58	35.6
18	0.8	~ 1.8			1437.60	59.9
19	0	~ 0.8			2117.44	110.6
			0	~ 0.2	538.02	
20			0.2	~ 1.2	824.13	34.3
21			1.2	~ 2.2	220.37	9.2
22			2.2	~ 3.2	102.21	4.3
23			3.2	~ 4.2	58.99	2.5
24			4.2	~ 5.2	38.40	1.6
計						365.4

*

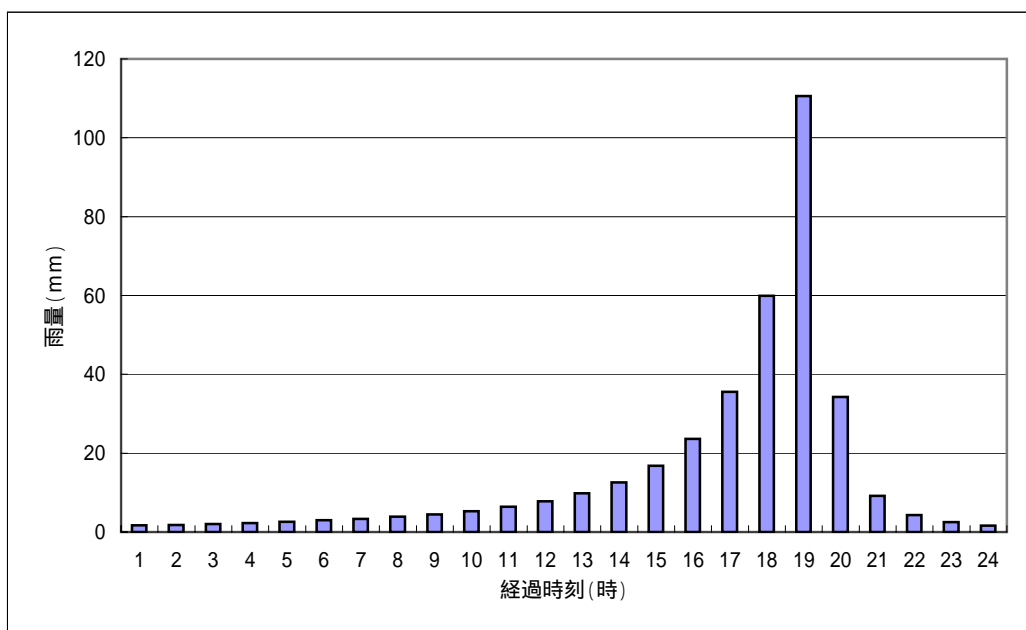
*

降雨強度

ピーク前 $16,652.6 \times (1/(t_1 + 2.14) - 1/(t_2 + 2.14))$

ピーク後 $1,040.8 \times (1/(t_1 + 0.53) - 1/(t_2 + 0.53))$

時間雨量 降雨強度 / 24



4 - 2 . 実測雨量の割増し

この方法は、観測されている日雨量分布の割増しを行う方法で、簡単に作成することができます。以下に例題を示しながら作成します。

実測雨量

実測雨量として、那覇の2005年6月16～17日にかけての雨量を採用します(任意に採用できますが、割増し率が2倍以上は避けてください)。

表 - 19(1) . 実測雨量(2005年6月降雨)

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
雨量	1.5	2.5	4.5	2.5	23.5	18	3.0	1.5	0.0	0.5	1.5	22.0	
時刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
雨量	12.0	11.0	3.5	64.5	49.0	18.0	18.0	5.5	0.5	6.0	0.5	3.0	272.5

時間雨量の割増し

50年確率の時間雨量が110.6mmであることより、上表のピーク値を64.5mmを110.6mmにします。時間雨量の割増しは1.71となります。

$$\text{時間雨量の割増し率} = \frac{110.6}{64.5} = 1.71$$

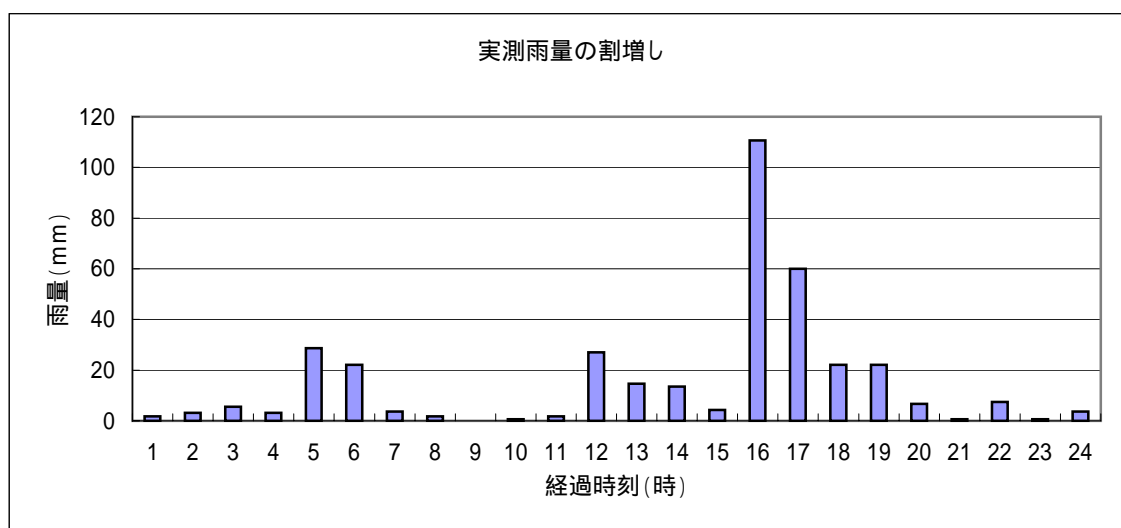
ピーク時間雨量以外の割増し

ピーク時間以外は、日雨量からピーク値を除いた量で割増し率を決定して雨量分布図を作成します。表-19(1)のピークを除く値を1.23倍し、結果を表 - 19(2)に添付します。

$$\text{ピーク時以外の割増し率} = \frac{365.4 - 110.6}{272.5 - 64.5} = 1.23$$

表 - 19(2) . 実測雨量の割増し(2005年6月降雨)

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
雨量	1.8	3.1	5.5	3.1	28.7	22.1	3.7	1.8	0	0.6	1.8	27.0	
時刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
雨量	14.6	13.5	4.3	110.6	60.0	22.1	22.1	6.7	0.6	7.4	0.6	3.7	365.4



4 - 3 . 那覇の降雨特徴型

那覇の降雨特徴を本書の第2項で述べました。これを生かした雨量分布図を作成します。これは、これまでの雨量分布図の作成にはない方法ですが、那覇の降雨特性を考えると重要な方法と思います。

1) 那覇の降雨特徴(表 - 3 及び表 - 9 参照)

- 2 時間連続雨量・・・日雨量の46.6%(表 - 3 より)
- 3 時間連続雨量・・・日雨量の55.0%(表 - 3 より)
- 4 時間連続雨量・・・日雨量の60.9%(表 - 3 より)
- 5 時間連続雨量・・・日雨量の70.0%(表 - 3 より)
- ピークの位置・・・日雨量全体の0.69の位置(表 - 9 より)

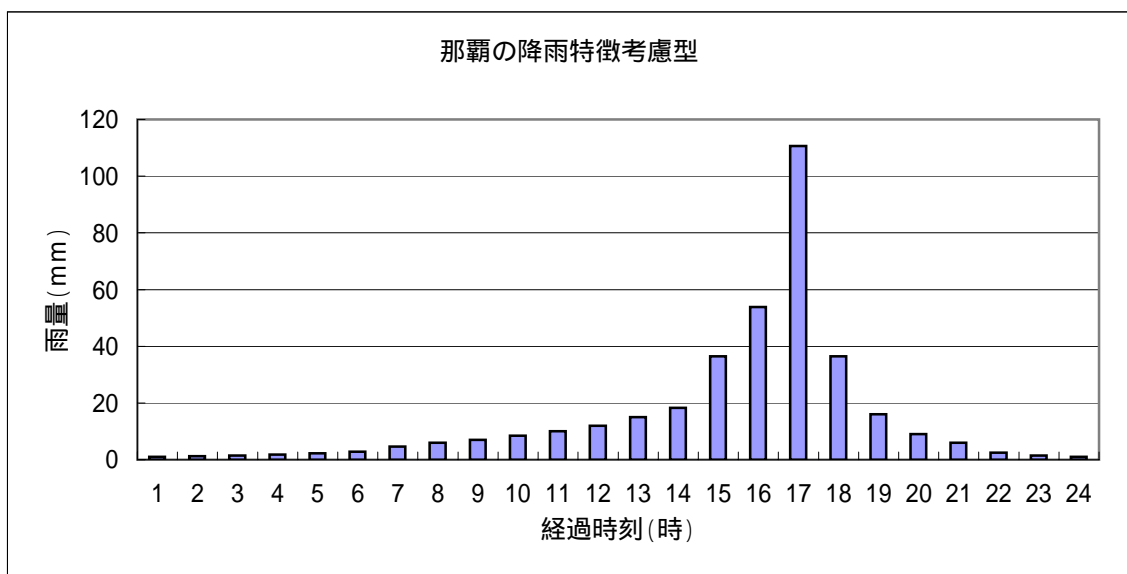
2) 雨量分布図の作成

上記を考慮して雨量分布図を作成します。

ピーク時間雨量・・・50年確率	110.6	mm
24時間雨量(日雨量)・・・50年確率	365.4	mm
2 時間連続雨量・・・全体の45%	164.4	mm
ピーク前1時間の雨量	164.4 - 110.6 =	53.8 mm
3 時間連続雨量・・・全体の55%	201.0	mm
ピーク前2時間の雨量	201.0 - 164.4 =	36.5 mm
4 時間連続雨量・・・全体の60%	219.2	mm
ピーク前3時間の雨量	219.2 - 201.0 =	18.3 mm
5 時間連続雨量・・・全体の70%	255.8	mm
ピーク後1時間の雨量	255.8 - 219.2 =	36.5 mm
ピークの時刻(全体の7割)	24 × 0.7 =	17 時

ハイトグラフ

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
雨量	1.0	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	4.6	6.0	7.0	8.5	10.0	12.0	
時刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
雨量	15.0	18.3	36.5	53.8	110.6	36.5	16.0	9.0	6.0	2.5	1.5	1.0	365.4



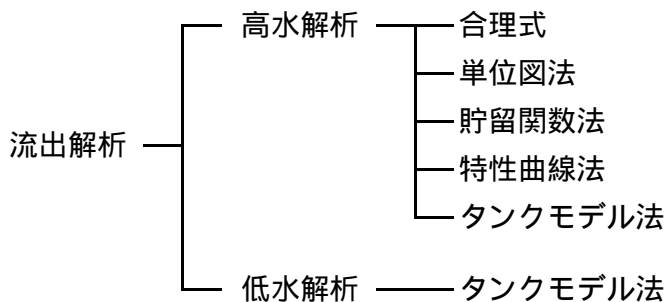
5. 流出解析

「流出解析」と称すると難しい解析のように思えますが、「雨量を流量に変換する解析法」と読み替えると簡単に思えます。ここでは、流出解析法を簡単に説明して、その1例を添付します。

1) 流出解析の概説

流出解析には高水解析と低水解析が有り、洪水を対象にしたものが高水解析であり1時間から数日までの流出量を求めるのに対し、日単位の流量を比較的長期にわたって取り扱うものが低水解析となります。また、高水解析は、いくつかの手法があるのに対し(下記に示す区分参照)、低水解析はタンクモデル法のみとなります。

流出解析の区分



2) 合理式

合理式は、洪水のピーク値を求める方法であるのに対し、他の高水解析は流量分布図(ハイドログラフ)求める方法です。合理式は、河川や水路の設計洪水量としてよく用いられています。この計算例を下記に添付します。

$$Q = \frac{1}{3.6} \times r_e \times A \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Q : ピーク洪水量 r_e : 洪水到達時間内有効降雨強度

A : 流域面積 例として 10.0 km²の場合で計算例を示します。

$$r_e = f_p \times r$$

r : 降雨強度 (mm/hr) f_p : ピーク流出係数

$$t_p = C \times A_1^{0.22} \times r_e^{-0.35}$$

t_p : 洪水到達時間(分or時) C : 土地利用係数

A_1 : 支線を除く流域面積(km²) 全面積の70%として $A_1 = 7.0 \text{ km}^2$ (計算例)

ピーク流出係数

地形の状況	f_p
急峻な山地	0.75 ~ 0.90
三紀層山地	0.70 ~ 0.80
起伏のある土地及び樹林地	0.50 ~ 0.75
平な耕地	0.45 ~ 0.60
かんがい中の水田	0.70 ~ 0.80
山地河川	0.75 ~ 0.85
平地小河川	0.45 ~ 0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50 ~ 0.75
路面及び法面	0.70 ~ 1.00
市街	0.60 ~ 0.90
森林地帯	0.20 ~ 0.40

土地利用係数

土地利用の状態	土地利用係数(C)	
自然山地	250 ~ 350	290
放牧地	190 ~ 210	200
ゴルフ場	130 ~ 150	140
粗造成宅地(水路道路整備)	90 ~ 120	100
開畑地(数ha程度の小面積)	50 ~ 130	90
運動場		80
市街地	60 ~ 90	70

2 - 1) ピーク流出係数と土地利用係数

洪水算定では、荷重平均を行い係数を求めます。以下に計算例を添付します。

現況	面積 A ₁ (km ²)	f p	C	A ₁ × fp	C × fp
市街地	4.00	0.75	70	3.00	280.0
畑地	1.00	0.53	90	0.53	90.0
森林	2.00	0.30	290	0.60	580.0
計	7.00			4.13	950.0
平均値		0.59	135.7		

2 - 2) 降雨強度式の誘導

時間雨量

$$R_{50}^{60} = 110.6 \quad \text{mm/hr} \quad \text{表 - 17(3)より}$$

10分間雨量

$$R_{50}^{10} = 30.2 \quad \text{mm/10分} \quad \text{表 - 17(4)より}$$

10分間雨量の1時間降雨強度

$$\begin{aligned} I_{50}^{60} &= R_{50}^{60} \times (60/10) \\ &= 30.2 \times 6 \\ &= 181.2 \quad \text{mm/hr} \end{aligned}$$

短時間特性係数值

$$C_{50}^{60} = \frac{I_{50}^{10}}{R_{50}^{60}} = \frac{181.2}{110.6} = 1.64$$

短時間特性係数式

$$C_{50}^t = \frac{a}{t + b}$$

$$C_{50}^{10} = \frac{a}{10 + b} = 1.64 \quad \Rightarrow \quad a = 1.64 \times 10 + 1.64 \times b \quad (1)$$

$$C_{50}^{60} = \frac{a}{60 + b} = 1.00 \quad \Rightarrow \quad a = 60 + b \quad (2)$$

(1), (2) 式より

$$1.64 \times 10 + 1.64 \times b = 60 + b$$

$$b = \frac{60 - 1.64 \times 10}{1.64 - 1.00} = 4.02$$

(2) 式より

$$a = 60 + 4.02 = 11.76$$

以上より短時間特性係数式は次のとおりとなります。

$$C_{50}^t = \frac{11.76}{t + 4.02}$$

降雨強度式

$$I_{50}^t = C_{50}^t \times R_{50}^{60} = \frac{11.76}{t + 4.02} \times 110.6 = \frac{1301.1}{t + 4.02}$$

2 - 3) 洪水到達時間

洪水到達時間は次の式で求められることとなります。

$$\begin{aligned}
 t_p &= 135.7 \times 7.00^{0.22} \times \left(0.59 \times \frac{1301.1}{t + 4.02} \right)^{-0.35} \\
 &= 250.4 \times \left(\frac{1301.1}{t + 4.02} \right)^{-0.35}
 \end{aligned}$$

$t_p = t$ として、洪水到達時間を求めます。その結果 $t_p = 46.9$ 分を得ます。

2 - 4) 降雨量度

$$r_e = 0.59 \times \frac{1301.1}{46.9 + 4.02} = 70.6 \text{ (mm/hr)}$$

2 - 5) ピーク洪水量

$$Q = \frac{1}{3.6} \times 70.6 \times 10.0 = 196.1 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

3) 単位図法

高水解析のうち合理式以外は、流量分布図(ハイドログラフ)を求めるための解析手法です。この計算例を最も簡単な単位図で示します。

3 - 1) 単位図の概説

単位図法は雨量 1 mm に対する流出量 (時間分布) を算定して、実際の雨量を乗じて流量を算定するものです。

- - - 中安の総合単位図法 - - -

$$Q_{\max} = 0.2778 \times \frac{A \times R_0}{0.3 \times T_1 + T_{0.3}} \times f$$

R_0 : 単位雨量 (1mm とする) , A : 流域面積 **10.0** km^2

Q_{\max} : ピーク流出量 (m^3/s)

T_1 : ピーク到達時間 (合理式の値 **46.9** 分 (**0.782** hr) とする)

$T_{0.3}$: Q_{\max} が $0.3Q_{\max}$ になる時間

f : 流出率 (合理式で算定した値 $f =$ **0.59**)

$$\begin{aligned}
 Q_{\max} &= 0.2778 \times \frac{10.0 \times 1.0}{0.3 \times 0.782 + T_{0.3}} \times 0.59 \\
 &= \frac{1.639}{0.235 + T_{0.3}}
 \end{aligned}$$

上昇曲線

$$Q_a = Q_{\max} \times \left[\frac{t}{T_1} \right]^{2.4}$$

t : 上昇時はピーク値のみであるので、 $t = T_1 =$ **0.782** となります。

減水曲線 $Q_d = 0.3Q_{max}$ の場合

$$Q_d = Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - T_1}{T_{0.3}} \right] \dots \dots$$

$0.3Q_{max} < Q_d < 0.3^2Q_{max}$ の場合

$$Q_d = 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - \left[\frac{T_1 + T_{0.3}}{1.5} \right]}{T_{0.3}} \right] \dots \dots$$

$0.3^2Q_{max} < Q_d$ の場合

$$Q_d = 0.3^2 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - \left[\frac{T_1 + 2.5 \times T_{0.3}}{3} \right]}{T_{0.3}} \right] \dots$$

以上より、 Q_{max} は $T_{0.3}$ が決まれば求まることとなります。ここでは、 $T_{0.3}$ を任意の値を代入して、洪水波形のピークの値が設計洪水量 $Q = 196.10 \text{ m}^3/\text{s}$ に一致するような $T_{0.3}$ を求めます。算定は表 - 21で行い、その結果 $T_{0.3} = 0.8578 \text{ hr}$ となります。なお、この計算に用いる雨量分布図は 4 - 3 項でもとめたものとし、単位雨量 1.0mm に対する流出量を以下に示します。

3 - 2) 単位雨量 $R_0 = 1.0\text{mm}$ に対する時間毎の流出量
ピーク流出量

$$Q_{max} = \frac{1.639}{0.235 + 0.8578} = 1.4998 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

到達時間が 1 時間以内 ($t = 0.782 \text{ hr}$) であるので、このピーク流出量を初期 ($t = 1 \text{ 時}$) の流出量とします。

$t = 2 \text{ 時}$ の流出量 ($t = 1.782 \text{ hr}$ として算定)

$$\begin{aligned} Q_d &= Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - T_1}{T_{0.3}} \right] \\ &= 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{1.782 - 0.782}{0.8578} \right] \\ &= 0.3685 \end{aligned}$$

$$0.3 \times Q_{max} = 0.3 \times 1.4998 = 0.4499$$

$Q_d < 0.3Q_{max}$ となるので、減水曲線 で算定します

$$\begin{aligned} Q_d &= 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - \left[\frac{T_1 + T_{0.3}}{1.5} \right]}{T_{0.3}} \right] \\ &= 0.3 \times 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{1.782 - \left[\frac{0.782 + 0.858}{1.5} \right]}{0.8578} \right] \\ &= 0.3939 \end{aligned}$$

t = 3時の流出量(t = 2.782 hrとして算定)

$$Q_d = 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t}{1.5} \times \frac{(T_1 + T_{0.3})}{T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.3 \times 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{2.782}{1.5} \times \frac{(0.782 + 0.858)}{0.858} \right]$$

$$= 0.1545$$

$$0.3^2 \times Q_{max} = 0.09 \times 1.4998 = 0.135$$

Qd 0.3²Q_{max}となるので、減水曲線式の算定で問題ありません。

t = 4時の流出量(t = 3.782 hrとして算定)

$$Q_d = 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t}{1.5} \times \frac{(T_1 + T_{0.3})}{T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.3 \times 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{3.782}{1.5} \times \frac{(0.782 + 0.858)}{0.858} \right]$$

$$= 0.0606$$

$$0.3^2 \times Q_{max} = 0.09 \times 1.4998 = 0.135$$

Qd 0.3²Q_{max}となるので、減水曲線式で算定します。

$$Q_d = 0.3^2 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t}{3} \times \frac{(T_1 + 2.5 \times T_{0.3})}{T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.3^2 \times 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{3.782}{3} \times \frac{(0.782 + 2.5 \times 0.858)}{0.858} \right]$$

$$= 0.0905$$

t = 5時の流出量(t = 4.782 hrとして算定)

$$Q_d = 0.3^2 \times 1.4998 \times 0.3 \left[\frac{4.782}{3} \times \frac{(0.782 + 2.5 \times 0.858)}{0.858} \right]$$

$$= 0.0567$$

以下同様にして、t = 6 ~ 16時の単位流出量を算定する。結果を下表に添付します。

単位雨量R₀ = 1.0mmより時間毎の流出量

時間 t (時)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
流出量(m ³ /s)	1.49982	0.39389	0.15453	0.09046	0.05666	0.03549	0.02223	0.01392	0.00872
時間 t (時)	10	11	12	13	14	15	16		
流出量(m ³ /s)	0.00546	0.00342	0.00214	0.00134	0.00084	0.00053	0.00033		

上表の値に計画降雨(4-3項の降雨)を乗じて流出量を求めます。雨量が2mmの場合、上記の値が2倍となります。また、時間雨量の時刻が1時間ずれた場合は、1時間ずらして算定し、それぞれの時刻における流出量を合計して毎正時の流出量とします。結果を表 - 20に示し、詳細計算は、表 - 21に添付します。

表 - 20 . 計算結果 (時間雨量と計算流量)

時刻	時間雨量	計算流量	時刻	時間雨量	計算流量
	mm	m ³ /s		mm	m ³ /s
1	1.0	1.5	14	18.3	37.09
2	1.2	2.19	15	36.5	66.53
3	1.5	2.88	16	53.8	100.67
4	1.8	3.57	17	110.6	196.10
5	2.3	4.56	18	36.5	112.05
6	2.8	5.62	19	16.0	63.73
7	4.6	8.67	20	9.0	40.62
8	6.0	11.65	21	6.0	27.83
9	7.0	14.08	22	2.5	16.97
10	8.5	17.17	23	1.5	10.91
11	10.0	20.43	24	1.0	7.24
12	12.0	24.51	25		3.84
13	15.0	30.33	26		2.30

