

## 論 說 報 告

土木學會誌 第十三卷第二號 昭和二年四月

## 強雨の新法則に関する研究

准員 工學士 久野重一郎

Investigation of Duration-Intensity Formula.

By Jyuichiro Kuno, Assoc. Member

## 内 容 梗 概

灌漑排水の事業、道路及鐵道築堤の排水設備、河川の改修、都市下水道の築造、これらの場合に必要とする最大洪水量の推定は、集水區域の關係上單純ではない。こゝに強雨の Duration-intensity の問題起る所以である。而して強雨は、それ自身にはきして統制を有せず、甚だ複雑極まるものである故に、今その考察に際しては、特殊の立場を前提するを要し（第一節）、次にこれに據つて北九州の強雨性を觀察すれば（第二節）、こゝに強雨に関する新しき一系の法則

$$I = \frac{400}{\sqrt{t} - 0.85}; \quad I = \text{強度, 耗/時}; \quad t = \text{降雨時間, 分}.$$

を組織し得（第三節）。而して若し強雨と多雨との地理的獨立性を容認すれば、如上の強雨則は相當確率性に於て、その適用範圍をわが國大半の地方にまで擴張せらる（第四節）。又一面大洪水は必ずしも最強雨に伴はず。故に強雨性と平行して、吾人は常に、土壤飽和の極大に達すべき豫備降雨の情勢に留意せねばならぬ（第五節）。

更に翻つて歐米の強雨を見るに、固より數量に於ては、我國に及ばない。けれども時間強度の關係は、甚だ良くわが國の強雨に類似して居る（第六節）、従て今日までに歐米に發展せる強雨則の多くは、何れも改造の餘地を有し（第七節）、畢竟するに

$$\text{強雨則,} \quad I = \frac{a}{\sqrt{t} - b}$$

なる新形式こそは、經驗への一致性に於て、恐らく他のすべてを凌駕せん（第八節）。

## Synopsis

The determination of flood discharge is the first requisite in designing a riparian work. But owing to various elements to be taken into consideration, the work is by no means a simple one hence the "Duration-Intensity" problem of heavy rainfall. In formulating the relation between Intensity and Duration, certain assumptions must be made as to the nature and extent of watersheds. From observations made in the northern part of Kyushu, the following formula is obtained:

$I = \frac{400}{\sqrt{t} - 0.85}$ ; where "I" is intensity (mm/in) and "t" the duration of rainfall in minutes.

If we consider Intensity apart from Frequency, the above formula may probably be applied to rainfalls in the greater part of Japan with fair results. On the other hand, as a heavy rainfall is not always followed by an equally great run-off attention must always be paid to the degree of saturation of the soil at the time of the rainfall. Although the maximum rainfall in Europe and America is lower than that in Japan, the relation between the duration and intensity shows close similarity. Therefore, by making certain changes in numerical quantities above given formula,  $I = \frac{a}{\sqrt{t} - b}$  may be made applicable to rainfalls in these countries.

## 目 次

第一節	推論の前提	2
第二節	北九州の強雨性	2
第三節	強雨則	4
第四節	強雨の分布	7
第五節	強雨と洪水	9
第六節	歐米の強雨	10
第七節	歐米強雨則批判	12
第八節	結 言	15

### 第一節 推論の前提

君島工學博士が、その高著「氣象」のうちに述べて居らるゝやうに、ある地點の雨の回数及量は、地理的關係、海洋よりの距離、地盤の高さ、恒風、風を横切る山脉の狀勢等によつて異なり、更に時間的にも、日により月により年によつて變化し、或は 5 分、10 分の間にも雨の強さは相違するが故に、雨は確かに複雑な現象である。然して今、一地點に於ける極大強雨性のみに着眼するとき、その量が降雨繼續時間の純乎たる函數であると思惟することは、さして困難ではないであらう。次に各地の強雨性を統括しての考察が可能であり、且その強雨性は繼續時間の函數である前提し得るものなりとせば次の如き思考の進展を見る。即ち任意區域内の強雨経験を素材とせる一系の理論を假定すれば、こゝにその地域に於て將來豫定すべき強雨性の確率的一法則を樹立し得るであらう。この考へにもとづきて福岡一等測候所の管内に於ける強雨性の歴史を次に視る。

### 第二節 北九州の強雨性

現在、福岡一等測候所管内に於て雨量觀測所は 60 個あり。その中早きは明治 27 年に開

設せられ、大正 14 年までには既に 32 年を閲してゐる。雨量観測の記録もまた従て、その全部を合すれば、等身はおろか、文字通り汗牛充棟の光景に近い。よつていま前述の立場に於て、この尨大なる記録を選択取捨し、そのうちより絶対最多の雨量を摘出すれば、まづ次表あり。但雨量はすべて耗をもつて表はし、大勢をつかまんがためその端数は適宜四捨五入してある。又發現年次のうち、27 以上のものは明治の年號を、14 以下のものは大正の年次を示すものとす。

第 一 表

地名	最多年量 (年次)	最多月量 (年-月)	最多日量 (年-月-日)
門 司	2 800 (12)	970 (12-6)	230 (13- 8-20)
小 倉	2 700 (12)	870 (12-6)	230 (37- 6-25)
福 岡	2 200 (38)	590 ( 3-6)	260 (38- 7-26)
曲 淵	3 100 ( 7)	880 ( 7-7)	280 ( 7- 7-11)
直 方	2 400 (38)	710 (12-6)	290 ( 3- 6-19)
小石原	3 500 ( 7)	990 ( 3-6)	210 ( 3- 6-19)
敷	3 500 (38)	1 040 (38-7)	230 (38- 7-26)
柳 河	2 600 (12)	870 ( 3-6)	270 (44- 6-14)
矢 部	3 700 (38)	1 080 (11-7)	280 ( 3- 8-25)
黒 木	3 000 (38)	940 ( 3-6)	240 (38- 7-25)
前 原	2 200 (39)	670 (39-6)	300 (29- 8-17)

固より雨は一日平均して降るものでない。いはゞ流れに浮ぶうたかたが、かつ消えかつむすぶが如く雨も降つてはやみ、やんでまた降る。同じく降りつゝある間にも、或は強く或は弱く時を定めず變り行く。従てこれを眺むるタイムの幅により、われらの眼に映ずる雨の平均強さは變轉する。いま短く選びて時の長さを一定し、最多の雨量を探求すれば次の 6 個の表示を得。

第 二 表

観測時間	雨量	場所	年-月-日	降雨終時刻
6時間	125.4	福 岡	38- 7-26	午後 6 時
4	116.3	小石原	10- 7- 1	後 6
4	112.3	福 岡	24- 7-21	後 6
3	119.5	黒 木	10- 7-17	正 午
3	79.3	福 岡	30- 9-29	後 1

第 三 表

雨量	場所	年-月-日	降雨終時刻
93.8	黒 木	45- 7- 2	午前 8 時
83.5	日 田	45- 7- 2	前 8
80.1	小石原	10- 7- 1	後 6
78.3	小石原	7- 8-12	正 午
68.3	福 岡	31- 7- 4	前 9

第 四 表

観測時間	雨量	場所	年-月-日	降雨終時刻
1 時間にて	83.5	黒 木	42- 9-24	午前 9 時
	63.9	小石原	7- 8-12	前 10
	59.9	黒 木	8- 9- 9	後 7
	59.0	福 岡	35- 8-25	後 4
	57.0	福 岡	42- 9-24	後 7 30

第 五 表

雨量	場所	年-月-日	降雨終時刻
56.0	黒 木	42- 9-24	午前 8 35
55.4	黒 木	8- 9- 9	後 6 30
39.0	日 田	8- 7-21	後 4 10
36.0	添 田	2- 8-19	前 2 40
33.2	福 岡	39- 8- 2	前 3 20

第六表

20分間にて	41.4	黒木	8-9-9午後	時分 6 20
	36.9	曲淵	11-3-1後	0 20
	31.6	小石原	2-8-19前	2 50
	33.8	添田	45-7-11前	8 50
	25.6	福岡	43-9-4後	3 30

第七表

10分間にて	31.0	黒木	4-6-28午後	時分 4 20
	30.0	添田	45-7-11前	8 50
	21.5	日田	2-5-13前	3 50
	20.0	小石原	2-8-19前	2 50
	19.0	福岡	6-8-6後	1 50

上表に現はれし観測地點は次の如き諸条件を具有し、特に星印を附せるものは自記雨量計を所有する處である。雨量の單位が異なることは前に等し(第八表)。

第八表

地名	観測場所	海拔(米)	観測開始	平均雨量	統計年數
門司	門司市廣石町(門司市役所)	8	明治 35 年	1 760	24
小倉	小倉市堺町(小倉高等小學校)	4	27	1 640	32
*福岡	福岡市住吉町(福岡一等測候所)	5	27	1 590	32
*曲淵	早良郡内野村曲淵(福岡市水道課)	—	大正 6	2 320	9
直方	鞍手郡直方町(舊鞍手郡役所)	14	明治 27	1 660	32
*添田	田川郡添田町(南尋常高等小學校)	82	29	1 860	28
小石原	朝倉郡小石原村小石原(森林測候所)	425	大正 3	2 730	12
鼓	同上村鼓(小石原村役場)	400	明治 36	2 550	23
柳河	山門郡柳河町(舊山門郡役所)	4	27	1 730	32
矢部	八女郡矢部村北矢部(村役場)	335	34	2 570	25
*黒木	八女郡黒木町(黒木町役場)	88	31	1 940	28
前原	糸島郡前原町(糸島農學校)	6	27	1 600	32
*日田	大分縣日田郡日田町(後藤氏)	84	41	1 630	18

### 第三節 強 雨 則

前節の表に明かなる如く、考察時間の短縮せらるゝ程、これに對應する極大強雨性は異常の發展を見る。よつて任意降雨時間に於ける強雨量にもとづき、その強さに等しき一時間降雨率を求むれば、この毎時降雨量によつて、繼續時間の長短による強雨性の變化を大觀し得べし。従て今、如實に觀測せる強雨量と、その繼續時間とを一函數關係に組織し得ば、それは即ち一の強雨則たるものである。その式形は固より強雨態の解釋如何によつて變り決して唯一的ではない。且強雨てふ如き現象は、それ自身に於ては整然たる統制を有せざるが故に、これを組織する法則も亦従て公算的法則に屬すべきはいふまでもない。その種々あり得る法則形の可否は、それが良く經驗に一致すべきや否やによつて決せらる。

君島工學博士の提示に倣ひ、今強雨則形として次式を選ぶ。

$$I = \frac{a}{t^n + b} \dots \dots \dots (1)$$

こゝに  $t$  = 強雨繼續時間 (分),  
 $I = t$  に於ける降雨の一時間強度 (毎時耗),  
 $a, b, n$  = 經驗的常數,

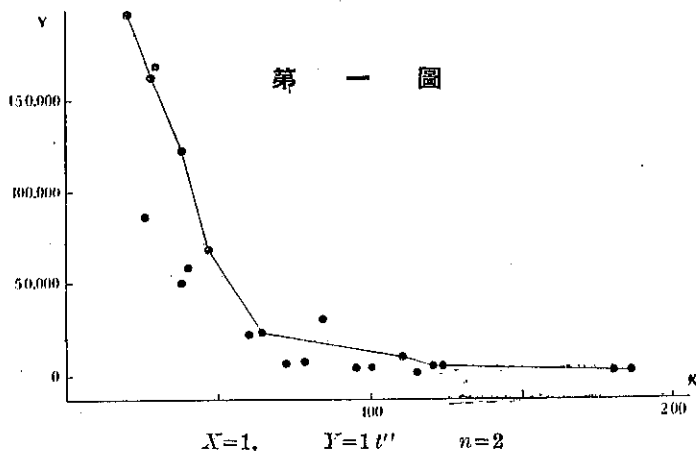
若し  $n=1$  ならば,  $t, I$  坐標系に於て (1) は  $(-b, 0)$  に中心を有し,  $t = -b$  及  $I = 0$  を漸近線とし, 且中心より頂點への距離が  $+\sqrt{2a}$  なる Rectangular hyperbola である。従て  $t$  の小なる程  $I$  大なること, 及び  $t$  が限りなく増進せば  $I = 0$  たるべきことはこの曲線の性質上明瞭である。即ちこのものは概觀上, 前述強雨性の變化に甚だ良く近似す。たゞ (1) 族の曲線中, 如何なる  $n$  が最もよく經驗に一致すべきか, これ次に決すべき問題である。

今  $x = I, \quad y = It^n \dots\dots\dots (2)$

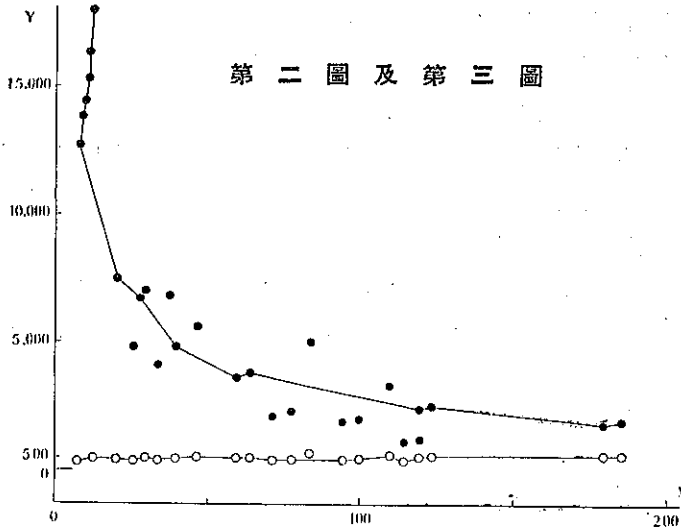
と置けば (1) は變形せられて

$y = -bx + a \dots\dots\dots (3)$

依て知る。(1) が如真に經驗を統括し得るためには, 同じ經驗材料につき (3) が成立せねばならぬ。逆には又一系の經驗が, 一直線 (3) に要約せらるゝならば (1) の合理性はこゝに自證せらる。よつて前節に叙せる全強雨量より (2) として定義さるゝ  $x$  及  $y$  を計算すればこれより  $n=2$  として附圖第一,  $n=1$  として附圖第二,  $n=0.5$  として附圖第三を得 (徒に



煩を増すことを怖れ, こゝには其一々の計算數値を記さず)。これらの線圖より明瞭なる如く  $n=2$  及び  $n=1$  と選べる場合にありては  $xy$  間に直線性成立せず。即前節得し如き強雨性を,  $n=1$  又は  $2$  なる (1) によつて統括せんとすることは, 數學的に不合理且不可能である。然るに  $n=0.5$  に於ける觀測點は略直線狀に配列す。故に知る, 微小範圍の公算性を許せば  $n=0.5$  とせる (3) 従て (1) は, 強雨則形として全くそこには數學的合理性及嚴密性兼備せらる。且附圖第三より大體察せらるゝ如く, 直線 (3) の傾角の正切は正號を取る。よつて (3) の  $(-b)$  を改めて  $(+b)$  に置換すれば, 強雨則形として次式あり,



● → 第二圖  $n=1$ ,      ○ → 第三圖  $n=\frac{1}{2}$

$$y = bx + a, \dots\dots\dots (4)$$

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} - b} \dots\dots\dots (5)$$

こゝに (1) の縦漸近線は  $I$  軸を越えて  $t$  の正界に入る。されどその進出し得る範囲はこれら兩式を導くに用ひられし  $t$  の最小値 (10 分間) に制限せられて、次の領域に止まるべし。

$$0 < b < \sqrt{10} \dots\dots\dots (6)$$

同時に公式としての活用範囲も亦 (5) 成立の過程より當然次の掣肘を受く。

$$t > 10 \dots\dots\dots (7)$$

次に常數  $a$  及  $b$  は概算的には附圖第三より求め得らるゝのであるが、こゝには正確を期するため最小自乗法に據らん。即 (4) に據依すれば、次の Normal equations あり、

$$\left. \begin{aligned} [x^2]b + [x]a &= [xy] \\ [x]b + [1]a &= [y] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

よつて附圖第三の構造に於けると同様に前節の 1 日及び其以下の強雨を資料とし  $n=\frac{1}{2}$  なる (2) より (8) の係數値を得ること次の如し。

$$[1]=41; \quad [x]=2\,472; \quad [y]=18\,366; \quad [x^2]=240\,918; \quad [xy]=1\,186\,733.$$

これを (8) に入れば、解答として

Most probable values

$$a=396; \quad b=0.8657 \dots\dots\dots(9)$$

を得。この  $b$  は、さきに (6) として論理的に斷定せる如く果して  $\sqrt{10}$  を越えない。又  $a$  は 400 に甚だ近い。故に若しこれを 400 なる Round number にとり得んか、記憶し易く實用に便である。よつて直線 (4) を少しく廻轉し  $y$  軸の Intercept を 4 だけ引上げ、傾角を  $\tan^{-1}0.0157$  ( $0^\circ 54'$ ) だけ減少せしむれば、

$$a=400; \quad b=0.850 \dots\dots\dots(10)$$

(9) と (10) による (5) の變化は次の如く微小にして實用上影響を及ぼさない (第九表)

第 九 表

$t$ (分)	10	20	30	60	120	180	240	360	1 440
(5, 9) の $I$	173.2	109.8	85.9	57.6	39.3	31.6	27.1	21.9	10.7
(5, 10) の $I$	173.2	110.5	86.4	57.9	39.6	31.8	27.3	22.1	10.8
(9, 10) の差	0	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
$t$ の總雨量	29	37	43	58	79	95	109	132	260

よつて北九州に於ける強雨則は、こゝに全く組織せられたる。即ち式に曰ふ、

$$I = \frac{400}{\sqrt{t} - 0.85} \dots\dots\dots(11)$$

但し

$$10 < t < 1 440 \text{ (1 日)}$$

かくて得る雨量は、上表に見る如く、最早必ずしも絶對最多とは限らない。いはゞ Most probable max. intensity である。

#### 第四節 強雨の分布

雨が低氣壓性のものにせよ或は地形性のものにせよ、各地には夫々異なる地方的關係存する故に、雨量變化は頗る錯雜する。たゞ大觀すれば北九州に於ける強雨は、時間的には午前 7 時及午後 5 時前後に多く襲來する。蓋し朝の 7, 8 時頃は一般に氣温低くして雲量多く、晩の 4, 5 時頃は氣温最高に達して上昇氣流旺盛なること等がこの時刻に多雨なる一理由であらう。

次に一地方の多雨性と強雨性との關係を見る。年雨量の大なる所に月雨量の大現はるゝことは、北九州に於ても亦略通則の如くである。而して更に短時間の大雨即ち強雨も亦多雨なる土地に出現すべしとはわれらが普通想像し得る所である。然るに驚くべし、眼前に展開する事實は、寧ろこの推定を否定するかに見ゆ。まづ福岡地方を見よ。第二節に掲げたる如く 1 日の強雨としては、前原の 300 耗、直方の 290 耗、柳河の 270 耗、福岡の 260 耗及び前に掲げざりしものに築上郡八屋町の 304 耗 (明治 40 年 9 月 6 日)、同郡唐原村の 260 耗

(前同日)等あり。これらの土地は何れも皆平生寧ろ寡雨なる地方である。而して年雨量に於て最多雨性なる小石原村鼓の如きは最多日量僅に 230 耗にして、福岡縣下最寡雨地なる遠賀郡蘆屋町 (32 年の平均年 1470 耗) の最多日量 200 耗と大差がない。依て知る、1 日間の最強雨は必ずしも多雨なる地に生ぜず。

福岡縣下 60 の雨量観測所の中、自記雨量計を所有するところは不幸にして未だ 1 割にすぎない。故に如上の考察を更に 1 日以下なる短時間強雨に及ぼすべき資料乏し。これ甚だ遺憾に堪へない。第二節の例示に於て強雨性の多くが多雨性に随伴せる如く見ゆるは、自記雨量計設置がたまたま多雨性の土地に多きことに基因す。従てこれら以上の強雨が尙其以外の土地に襲來せしことの確率性は十分に存在する。若しかゝる短時間強雨の一般的記録にあらば、強雨性と多雨性ととの喰違は、恐らく日量に於ける以上更に甚しく呈現せらるゝであらう。蓋しかゝる強雨は多く颶風性のものなるが故に、その發現地點は主として低氣壓通路に支配せられ、平生の多雨性如何は最早問題にあらざるものゝ如くであると思惟せらる。固より強雨は颶風によらざることがある。その場合と雖も強雨性は必ずしも多雨性に随伴しない。こゝに其最も顯著なる一例を挙げん。大正 15 年 9 月 11 日未明、廣島を襲へる強雨の 1 時間強度を示せば、

午前 2 時迄	79.2 耗	} 4 時間に 286.2 耗 5 時間に 322.8 耗
3 時	68.2	
4 時	77.6	
5 時	61.2	
6 時	36.6	

この日この時、廣島には低氣壓の痕跡すら存在しない。且つ廣島の平均年雨量は 1550 耗以下にして、福岡よりも更に寡雨である (以上は君島博士の調査せられしものによる)。依て再び曰ふ、強雨性が必ずしも多雨性に随伴せざることとはこゝにも亦明瞭である。かくの如く短時間性強雨と長期性多雨との間には顯著なる本質的關聯は存在しない。年雨量の多き所必ずしも強雨量の甚大を豫想し得ず、又平生寡雨なることが直に以て強雨來の不安を消滅せしめ得る所以ともならない。結局、強雨性は強雨性自らによつて規定せらるべく、多雨性に據る推斷は出來ないといふ平明なる真理の軍門にわれらは降伏するより外ないのである。

さて今や翻て、さきに得し強雨則の適用範圍を反省すべき時期に達せしものゝ如くである。前節の式 (11) なる強雨則は 1 日 200~300 耗の強雨範圍に於て誘導せらる。従て強雨性がこの範圍内なる土地たれば、其處ではこの法則は近似的に尙適用價値を存續すと考へ得るであらう。即ち敢て北九州たるを要しない。但それが嚴密にと無條件にいへるのではない。正確には各地に於ける様々の時間につきての強雨觀測に待たねばならぬこと勿論である。こゝにはたゞ、大體の見當付け役に立ち得るといふ範圍に於て、この法則はそのまゝの確率性を



略所有しつつ、全國的擴張の可能を主張するのみ。然るに著者の手許には今不幸にして數十年に亘る全國の最多日量記録を所有しない。従て詳しくは如何なる地方にまで該法則を擴張し得るかを明斷し得ない（この點につきては、かゝる記録に接する便益を存せらるゝ人士によつてこれが完成せられんことを希念してやまない）。

・事態かくの如きよりこゝには一試案として、然り眞に試案として次の如き推論を提示する。既に説けるが如く、強雨性と多雨性との間には明確なる關聯なし。されど今「稍廣き範圍に選べる多雨性變域にありては、之に對應してまた、稍廣き範圍の強雨性變域存在す」と假定せん。この茫漠たる集合論的假定を今少し具體化すれば次の形をとる。平均年雨量例へば約1500~2000 耗なる一地方に襲現せる強雨性は、等量の年雨量を有する他地方に於ても亦大體相等しき確率に於て出現す。これによれば、前記強雨則は全國的に擴張することを得。即ち該法則は 20~30 年間の平均年雨量約 1600~2500 耗なる土地に於て成立せしものなるが故に、かゝる雨量を有する地方總てを該法則適用の可能なる範圍と認めれば、その地方次の如し（第十表）。但（ ）内の地名は平均年雨量 2500 耗を超ゆる所、[ ]内は 1600 耗に達せざる所を示す。又これらの分類は總て君島博士著「氣象」中の雨量表に據る。

## 第十表

（九州）	鹿兒島，熊本，長崎，佐世保，福岡，大分（宮崎）
（四國）	徳島（高知），[松山，新居濱]
（中國，近畿）	下關，濱田，境，宮津，舞鶴，京都，敦賀，彦根（湖岬），[廣島，吳，岡山，神戸，大阪，和歌山]
（關東，中部）	福井，岐阜，名古屋，津，濱松，沼津，伏木，高山，新潟，飯田，足尾，宇都宮，東京，横濱，横須賀，銚子，[長野，甲府，前橋，水戸]
（東北）	秋田 [福島，山形，水澤，青森]
（北海道）	[函館，札幌，旭川，網走，釧路]

## 第五節 強雨と洪水

周知の如く雨が地表に達するや一部は直に蒸發して大氣中に歸り、残りの一部は地中に滲透す。若しこの蒸發及び滲透量以上の強度の雨あれば、その差量は地表を流下する。而て滲透量は地質等による外、土壤粒子間隙の飽和程度（Degree of saturation）により著しく相違す。即ち長期旱魃の後に滲透量は莫大であるが、降雨繼續して土壤既に飽和すればその中を通下し得る水量即ち滲透量は最小限度に達す。〔従て同一強雨に際しても、土壤の飽和程度により地表出水量に非常な差異がある（樹葉草苔による降雨遮斷作用は姑く考へない）。かくて短時間強雨必ずしも大出水を生ぜず、土壤飽和後に來る小雨却て大洪水を招くことがある。然らば飽和程度を極大にして洪水誘致に最良條件を與ふるが如き豫備降雨の經驗如何。明治24年以降35年間の觀測中より、かゝる降雨の最大なるものを求むれば、福岡に於て、明治

38 年

6 月 1—30 日の 30 日間に	370.3 耗
7 月 1—8 日の 8 日間に	288.1
7 月 18—25 日の 8 日間に	181.1
7 月 26 日午前 0—6 時に	80.4
午前 6—12 時に	44.0
正午—晩 6 時に	125.4
同 6 時—夜半までに	9.6

即ち 7 月 26 日正午に至るまでの降雨によつて、土壤樹草は悉く飽和して居る。そのとき沛然として 6 時間 125 耗の豪雨襲來したのである。洪水量の莫大、蓋し想像に難くない。洪水の考察に際しては實にかゝる程度の飽和状態出現すべきことに留意せねばならぬ。

## 第六節 歐米の強雨

次に英米に於ける強雨性を瞥見せんがため、便宜上

$t$  = 分を單位とする降雨時間

$i$  = 時に 吋/時 を單位とする降雨強度

と定めて、耗/時 なる前の場合との混雜を避く。而して北米 Boston の Chestnut Hill 貯水池に於ける觀測 15 年間の經驗によれば次の強雨あり (第十一表) (Eng. Nov. 17, 1922)。

第 十 一 表

$t=5$	10	15	20	30	45	60	80	100	120	150	180
$i=7.4$	4.85	3.82	3.31	2.65	2.0	1.65	1.35	1.18	1.02	0.87	0.79

この資料より附圖第四の如く

$v=i$ ,  $y=it$  として黒點系列を,

$v=i$ ,  $y=i\sqrt{t}$  として中白點列を

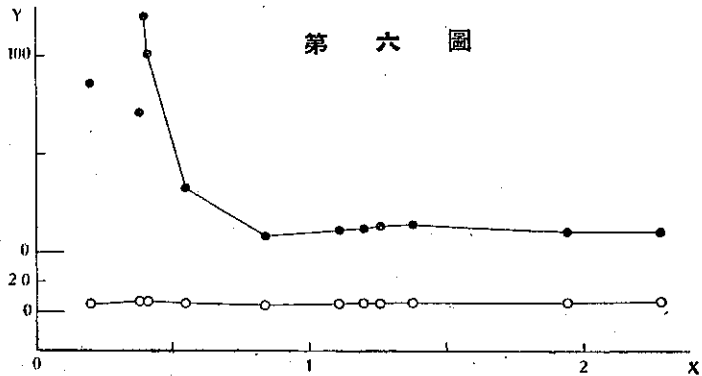
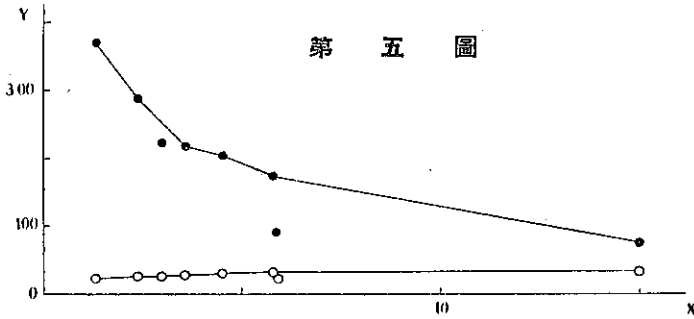
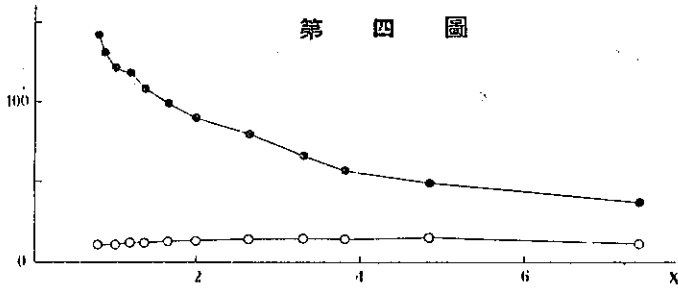
計算圖示することを得。この 1 系 2 種の時間強度圖に於て、若し點列の直線性を構想する必要ありとすれば、黑白何れの系列を以て直線に近似すとなすべきか。白點列が黒點系よりも一層直線的なることは試に黑白を判する如く何人にも明白であらう。換言すれば Boston の強雨性は實にわが北九州に於ける如く  $i=a/(\sqrt{t}-b)$  としてのみ始めて組織せらる。これを  $i=a/(t+b)$  となさばそは恰も第 3 節より明瞭なる如く、附圖第四の黒點列が其白點列以上に直線的なりと強辯するに等しい。而してそれは非 Euclid 性世界に於て或は眞であらう。

更に英國に例を求むれば 49 年間に次の最強雨あり (第十二表) (Eng. Nov. 17, 1922)。

第十二表

$t =$	5	15	30	45	60	75	120	300	540
$i =$	15.0	5.84	5.8	4.56	3.63	3.00	2.40	1.30	0.51

前同様第五圖の如く横軸に  $i$  をとり  $it$  を縦軸として黒點列を、次に  $i\sqrt{t}$  を縦軸として中白點列を作圖す。而してこれら 2 系の點列に直線性を假定する必要ありとすれば、こゝにも亦明瞭に白點系列が黒點系列よりも數段高き直線性を所有す。依て知る、英國の強雨傾向も亦わが北九州に於けると同様、 $i = a/(t+b)$  的にはあらずして、 $i = a/(\sqrt{t}-b)$  たるこそ、遙かに合理的である。たゞ常數  $a, b$  が東西相違すべきのみ。



又 San Francisco 38 年間 (1866~1903) の観測によれば、強雨として次値あり (第十三表) (Flinn &c., Waterworks Handbook)。

$t =$	1260	435	300	190	125	60	10	10	10	10	10	5	5	5
$i =$	0.37	0.20	0.40	0.38	0.41	0.55	0.84	1.14	1.20	1.26	1.38	1.92	2.04	2.28

これを前と同じく  $(i, t)$  及  $(i, t\sqrt{t})$  なる附圖第 6 に點示すれば、こゝにも直線性  $it = -bt + a$ , 即強雨則  $i = a/(t+b)$  を假定することの甚だ無理なることを知り得らるべし。

### 第七節 歐米強雨則批判

都市重大事業の一たる下水道構造に際しての必要上、軌近歐米の天地に發展せる強雨則甚だ多し。今その著名なる形態を分類列擧すれば

$$\begin{aligned}
 A. \quad & i = a - bt, \\
 B. \quad & i = \frac{a}{t+b}, \\
 C. \quad & i = \frac{a}{t^n}, \\
 D. \quad & i = \frac{a}{(t+c)^n}.
 \end{aligned}$$

既に展開せられたるこれら諸則の歴史を夫々の原典につきて考究することは甚だ興味あることなれども、こゝには更に高く大觀して直ちにその價値如何を反省批判すべし。

#### A 系強雨則

Duration-intensity なる意想を降雨現象中に導入せる最初のもは、實に前示 A 系則なる形に於てあつた。即ち 1889 年 Emil Kuichling は Rochester, N.Y. の強雨を次の 2 式に統括した。

$$\begin{aligned}
 0 < t < 60, \quad & i = 3.73 - 0.05 t; \\
 60 < t < 300, \quad & i = 0.99 - 0.002 t.
 \end{aligned}$$

當時既に 1 時間以内と 1 時間以上 (最長僅に 5 時間ではあるが) とに於ける強雨を、1 式中に組織することに早や破綻を示して居る、然も  $t=60$  に於て強雨値に不連続を生ぜざる如く相當苦心せる跡は之れを認めねばならぬ。その後、観測と調査の精細を加ふるに従ひ、 $i$  の直線性を豫想し得られざること愈明瞭となり、こゝにこの系統に屬する強雨則は、今日全く歴史の中にその影を没し去つて居る。

#### B 系強雨則

前者をしてかくも僅花一朝的に没落せしめたる所以のものは、一面、次に來れる B 系則

の勃興に存す、蓋しこの式形は既に第三節にも叙せるが如く  $(-b, 0)$  に中心を有する直交雙曲線に外ならぬ、而してこの曲線に於ける坐標  $t, i$  の關係が一見強雨性の時間強度關係に酷似せる如きが故に、かゝる形式を以て完全に強雨を律し得べしと思惟したるは決して無理ではない。かくてこの前提の上に續々として幾多の殿堂が築かれた。それが如何程までに強雨性を莊嚴せしかは姑らく後の問題とし、こゝには構造せられし最強雨則の形を先づ一瞥せん。

#### 第十 四 表

提 示 者	$a$ の 値	$b$ の 値	使 用 地 點	發 表 年 次
F.E. Nipher	360	0	St. Louis	1885
A.N. Talbot	360	30	Rocky 以東の U.S.A.	1891
E.S. Dorr	150	30	Boston	1892
E. Kuichling	120	20	Boston, New York	1905
C.D. Hill	120	15	Chicago	1907
J. de Bruyn-Kops	191	30	Savannah	1908
Metcalf & Eddy	84	4	Denver	1911
C.W. Hendrick	300	25	Baltimore	1911
L. Davies	63	30	England	
P.A.M. Parker	240	30	England	

式  $B_{\max}$  を  $it = -bt + a$  と變形し、如實の觀測値につきて坐標  $(i, it)$  の直線性を檢證すれば、之によつて式  $B$  の價値は察せらるべし。而して既に説ける如く、第 3, 6 節に考慮せし地方の強雨にありては、不幸にしてこの形式は經驗に矛盾しないまでも、甚だ大なる開きを存する。即ち強雨の時間強度關係を直交雙曲線上に豫定せしは、甚だ近似的且概觀的なる考察にして、到底之によつて強雨の全般を律し得るものでない、故に今や問題は  $a, b$  の正當値如何といふ如き程度に残留し居らずして、更に根本的に該式系の生命如何を斷すべきまでに事態は急迫し來つて居る、宜なる哉 1912 年 (Eng. Record, Aug. 10), R. A. Brackenburg は Spokane, Wash. の強雨につき一式を案出して曰ふ。

$$i = \frac{23.92}{t+2.15} + 0.154$$

されどかゝる枝葉的の手術によつて果して良く生命を挽回し得るや否や。畢竟これ將に滅せんとする燈火の最後の一閃に彷彿たるは第 3; 6 節の叙説より明瞭なるべし。

#### C 系 強 雨 則

これに屬するものに次の數者がある。

#### 第十 五 表

提 示 者	$a$ 値	$n$ 値	使 用 目 的 地
C.W. Sherman	38.64	0.687	Boston

提示者	$a$ 値	$n$ 値	使用目的地
C.S. Burns	25.12	0.687	Cherryvale
Webster	30.60	0.525	Philadelphia
L. J. Le Conte	7	0.5	San Francisco
Metcalf & Eddy	19	0.5	New Orleans
Do.	15.5	0.5	Boston
Do.	14	0.5	Louisville
C.E. Gregory	12	0.5	Boston

これらに於ける常數値は、式 C を最初に假定して決定し得べきこと固よりである。實際多くは然らん。されど更に根本的には、更に成因的には次の過程を踏み得べし。即ち先づ第三節に於ける如く

$$i = \frac{a}{t^n + b} \dots\dots\dots E$$

を假定し、これを

$$(it^n) = -bi + a \dots\dots\dots F$$

と變形し、觀測値  $i, t$  及任意に選べる  $n$ , これら 3 より  $a, b$  を決定せらる。而してこのとき附圖第一～六に明瞭なる如く、強雨の一般的傾向として、 $n=2$  とせば近似的に推定せる直線  $F$  の  $a, b$  は共に正にして甚だ大きい。 $n=1$  にとれば  $a, b$  共に減少す。更に  $n=0.5$  にとれば  $a$  は正にて縮少し ( $-b$ ) は符號を變じて正值をとる。依て知る  $n$  が 1 より 0.5 に至る途中に於て ( $-b$ ) は負界より正界に入る。換言すれば  $b=0$  即ち直線  $F$  が  $i$  軸に平行すべき位置に對應する  $n$  は通常 1 と 0.5 の中間に存在す。かゝる  $n$  は漸化法により見出し得らるべきが故に  $n=0.525 \sim 0.687$  如き C 系の成立は可能である。而してこの  $n$  は一般には 0.5 ではない。特例として Le Conte の據依せる San Francisco の場合には稍これに近い。故に  $n=0.5$  を豫定せる C 系式を基本となすは穩當でない。斯くの如くして  $n > \frac{1}{2}$  なる C 系式に於ては  $b=0$  なることによつて式形は單純化せらると雖も、同時に計算の簡易性は全く消滅す。故に實用的立場より考察すれば強いて  $b=0$  たらしむる必要更になく、寧ろ  $n = \frac{1}{2}$  にとりて  $b$  を殘留せしむるを得策となす。蓋し平方根の計算は數表、計算尺、何れによるも極めて容易なるに反し 0.687 乗如き運算は甚だ煩雜である。故に曰ふ、C 系強雨則は實用的に成立困難である。而してそは結局 E 系即ち著者提示の強雨則系に轉入包擁せらるべき運命にあり。

## D 系 強 雨 則

この系統中に發展せしもの次の如し。

## 第 十 六 表

提 示 者	c の値	n の値
W.W. Horner	+5	0.85
Burkli	-8	1/2
McMath	-8	2/5
Parmley	-8	1/3

こゝに  $(t+c)$  は畢竟  $t$  を測る 原點を  $c$  だけ左右へずらしたることに外ならない。故に  $t, i$  座標系の代りに

$$X=t+c, \quad Y=i$$

なる新座標系を選べば D 系式は結局  $Y=a/X^n$  と化して C 系の問題に接近す。故に豫期せらるゝ如く  $n$  は實用的には甚だ取扱ひ難きものが多い。たゞ Burkli の得し  $n=\frac{1}{2}$  は彼の選べる強雨が特例たりしことによるか、或は式の近似化をいとはず最初よりかゝる  $n$  を假定せるかの何かである、以て一般に推し得る値とは思はれない。

## 第 八 節 結 言

如上の推理より結論は自ら明かである：—

(1) 我國一般に認められて居る 60 耗/時なる強雨はすべての標準とはなし難く、時間を 1 時間より伸縮するに従ひ強度は著しく増減す。

(2) 強雨則形としては、形式  $I=a/(t^{\frac{1}{2}}-b)$  が世界的に妥當にして其他は十分に經驗に合致しない。

(但われらが屢行ふ如く任意曲線の小部分は、之を直線と見做すも拋物線其他と看做すも實用的には差支なき場合多きが如く、 $t$  を微小範圍に限定すれば如何なる式形も皆經驗の一部に合致する。而して今  $t < \sim 1500$  てふ廣き變域に於て、著者の式は他のすべての式よりも更に高度の妥當性をもつ)。

(3) 特に北九州にありては平均的極大強雨則として

$$I = \frac{400}{\sqrt{t} - 0.85}$$

が成立す。

(4) 確率的にはこの式は更にひろき地域にまで擴張せらる。

これらの中、上 3 個は相當の確實性を斷言し得るものであるが (4) は眞に試案として導かれしもの故、絶對普遍性を附與し得るものではない。眞實には各地方毎に更に 20~30 年間の自記雨量計記録をもれなく精細に觀察し、而して  $I=a/(t^{\frac{1}{2}}-b)$  に代入し、改めてこゝに強雨則を樹立するを要す。その完成をこそ著者又切に望む。

更にこの小論に關聯し根本的には

(a) 觀測 32 年間の最強雨を以て、今後起り得べき最強雨と見做し得べきや否や。

(b) 強雨現象に關して、或る範圍の土地を一括し得るや否や

なる 2 問題が未解決のまゝに残留す。著者は之を否定せず、又肯定せず。こゝには其眞實性を前提して一系の推論をはこべるものである。而してその範圍にありては、論理に内部矛盾はないつもりである。若しこの前提を不穩當なりと思惟せらるゝ方々は、夫々の是とする立場に於て強雨現象を更に別の理論に組織し提示せられんことを望む。經驗への一致性が該系に於て、より大ならば著者悦んでそれに従はん。本稿起草に際し有力なる暗示を與へられたる君島博士に對し深甚の敬意を表す。

(完)

大正 15 年 10 月