

第一章 水流の成因

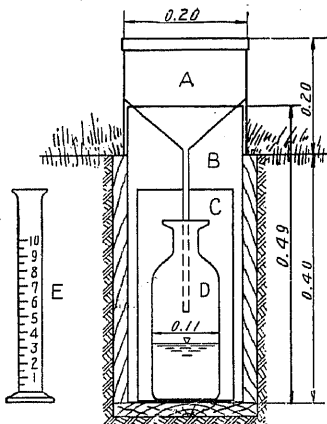
第一節 降 水

1. 雨量観測

雨、雪、雹、霰等は之を總稱して降水(Rainfall)と云ふ、降水量は土地の海岸よりの遠近、海面上の高、地形及風向等に関係があり、河川の水源は此降水に起因するものであるから河川工學上必要な基本となるものであつて、雨量とも稱せらる。

雨量は雨量計(Rain gage)を以て計り mm で表はす、雨量計を据え付ける場所は四方が廣く開けて家屋、樹木等の障害物より離れ、雨に風が伴つて降つても障害物の爲に遮ぎらるゝが如き處のない所を選ばねばならぬ、又雨量計は地面に垂直に据付け其周圍には芝等を植ゑて置く方が宜しい。

雨量計には種々の構造のものがあるが我國で普通用ひられて居るのは第1圖の如きもので、周圍は銅或は亜鉛製である、即ち直徑 20 cm 、高約 60 cm の圓筒受水器、潜水裝置及雨量柵より成り、雨量計の上縁を地上約 20 cm の高に置く、第1圖の A は雨を受ける受水器で、其下部は漏斗状をなし A の下には潜水器 B がある、 B の中に C なる器あり、 C の中に更に D なる硝子製潜水瓶あり漏斗の下から雨水を受ける。観測の時間に潜水瓶を取り出して其中の雨水を雨量柵 E に移す、此柵の目盛は柵と受水器との面積



第1圖 雨量計

の比に依つて刻んであるから其目盛を讀めば直ちに雨量が分る、例へば受水器口徑が 200 mm で、雨量柵の直徑が 40 mm なる時は兩者直徑の比は 5 で、面積の比は 25 となり、 1 mm の雨量は、雨量柵では 25 mm の高に表はれる、即ち

10 mm の雨量は雨量枴では 250 mm の高で示される、雨量枴は 10 mm の雨量に相當する様に作つてあつて、容易に 0.1 mm 迄の雨量を読むことが出来る。

一般に雨量の観測は毎日一回であるが第 1 圖の潜水瓶の如きは 80 mm 餘の雨量で一杯になるから豪雨の時には時機を見て分割測定が必要がある、又降雪の時には受水器は直ちに一杯になるから數回の測定を行はねばならぬ。

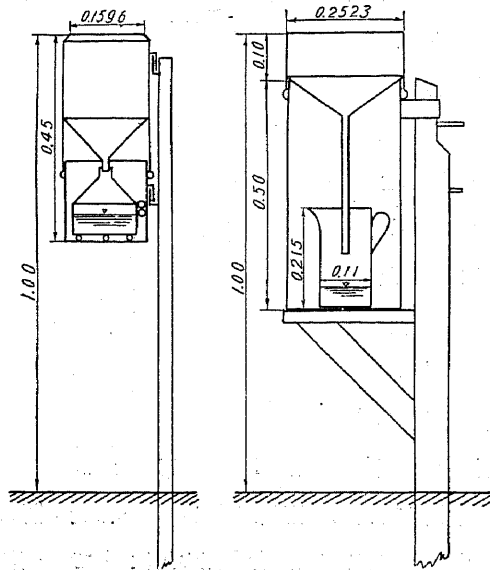
観測時間は一般に午前 10 時と定め其の日の午前 10 時より翌日の午前 10 時に至る 24 時間の雨量を當日量として雨量日表に記入するが、降雨があつても 0.1 mm に達しない時は之を 0.0 mm と記入する又皆無の時は一線を引く。

雪、霰等が受水器内に積つた時には之に溫湯を注いで融かし水となつたものを測り其中から溫湯の量を減すれば宜しい、又積雪量を測るに豫め目盛をした標柱を地上に建て置くこともある、之を積雪標 (Snow gage) と稱し、積雪の深は cm 単位にて計る。

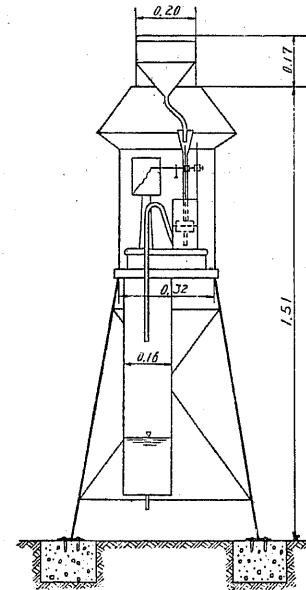
第 2 圖は獨逸に使用せらるゝ雨量計で受水器口徑は 159.6 mm、其面積 20 cm²

である、又第 3 圖は奧太利に使用せらるゝもので、受水器口徑 252.3 mm にして、其面積 500 cm² である、我國のものは面積 314 cm² で大さに於て以上兩者の中間に位する、而して前記兩者共雨量計を木製又は鐵製の柱に掛け、受水器の上端を地面上 1 m とす。

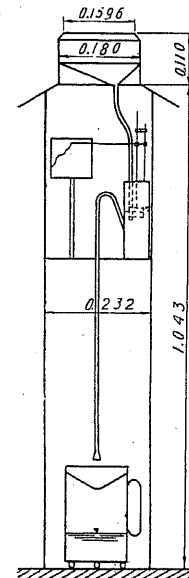
河川工學に於ては豪雨の強度及其繼續時間を知ることが最も必要であるから此の爲に自記雨量計 (Recording rain gage) を用ひねばならない、之は受水器



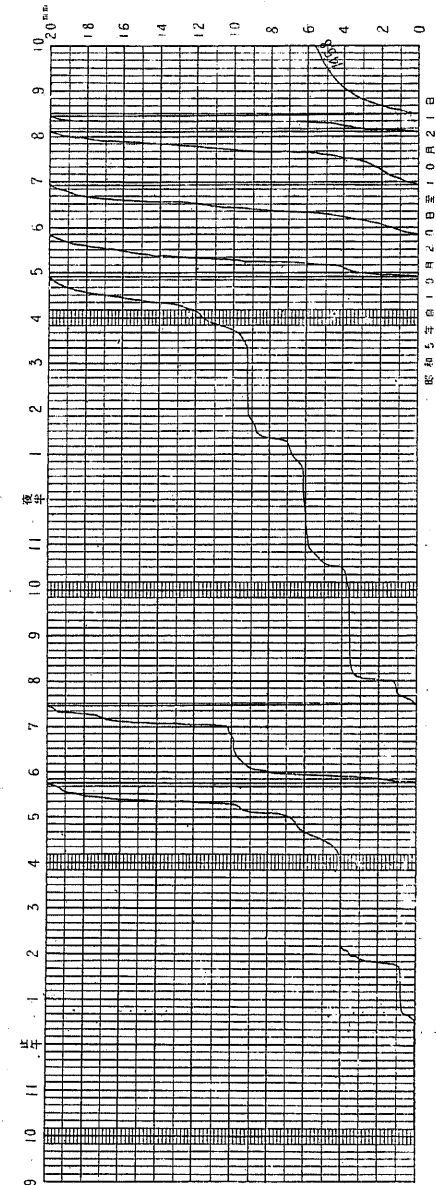
第 2 圖 雨量計 第 3 圖 雨量計



第 4 圖 自記雨量計



第 5 圖 自記雨量計



第 6 圖 自記雨量計に依る雨量

から雨水を漏水筒に導き、其筒中の浮子を上昇せしめ此浮子の運動を時計仕掛で垂直軸の周りに廻轉する圓筒の上に巻き付けたる用紙の上に描かせて雨量を知るのである。

受水器の口徑と漏水筒の直徑とを適當に作れば雨の高は漏水筒内にて相當の割合に擴大することが出来る、圓筒は 24 時間で一廻轉し、用紙の大きさは雨量 10 mm 又は 20 mm の高に相當する様に作る、雨の高を描くペン先が用紙の上端に達する時はサイホンの作用で漏水筒内の水は排出せられ浮子はペン先と共に零位に降り、降雨續く時は更に上昇する。

第 4 圖は我國に廣く用ひらるゝ自記雨量計であり、又第 5 圖は獨逸に使用せらるゝ自記雨量計の一種である。

第 6 圖は内務省東京土木出張所構内据付自記雨量計が記録した昭和 5 年 10 月 20 日午前 10 時から翌 21 日午前 10 時迄の雨量を示す、此圖によれば 24 時間の雨量は 145.8 mm であり、又 21 日午前 4 時 30 分より 8 時 30 分に至る 4 時間の雨量は約 82 mm である、而して此圖に於ては用紙の 10 cm を以て雨量 20 mm を示すから雨量は 5 倍に擴大せられて居る。

2. 雨量觀測所網

雨量の觀測は極めて大切で多くの觀測所の必要あるが、山岳地方では雨量分布が甚だ不規則であるから特に多くの觀測所を設けねばならぬ。我國の主要河川流域に於ける雨量觀測所の大體の數は第 1 表の如く一箇所當流域面積は 65 ~ 391 平均 176 km^2 である。

伊太利 Po 河流域にては河川の基本調査が完全に行はれて居つて、其流域面積 71,200 km^2 、雨量觀測所數 917 であるから一箇所當流域面積は 78 km^2 である。

又獨逸其他に於ける一箇所當流域面積は次の如くなつて居る。

Preussen	134 km^2	Hessen	104 km^2
Sachsen	62	Baden	177
Bayern	97	Österreich	113
Württemberg	146	Schweiz	110

第 1 表

雨量觀測所數

河 川	府 縣	流域面積 km^2	雨量觀測所數	一箇所當流域 面積 km^2
北 上 川	岩 手	7,797	38	205
阿 武 隈 川	福 島、宮 城	5,471	14	391
烏 川	群 馬、埼 玉	1,675	11	152
小 貝 川	栃 木、茨 城	1,063	6	177
鶴 見 川	神奈川	231	2	116
相 摸 川	神奈川	1,647	13	127
狩 野 川	靜 岡	852	4	213
富 士 川	山 梨、靜 岡	3,651	23	158
太 田 川	廣 島	1,618	10	162
菊 川	靜 岡	157	1	157
安 倍 川	靜 岡	542	3	181
豐 川	愛 知	705	5	141
矢 作 川	愛 知	1,906	14	136
新 宮 川	奈良、三重、和歌山	2,123	17	125
木 津 川	奈良、三重、京都	1,596	15	106
大 和 川	奈 良	715	11	65
那 賀 川	德 島	859	6	143
渡 川	高 知	2,267	11	206
大 淀 川	宮 崎	2,123	7	303
大 野 川	大 分	1,455	7	208
白 川	熊 本	479	5	96
川 内 川	鹿兒島	1,570	9	174
肝 属 川	鹿兒島	485	3	162
米 代 川	秋 田	4,100	12	342
最 上 川	山 形	7,408	39	190
常 願 寺 川	富 山	339	4	85
小 矢 部 川	富 山	674	6	112
手 取 川	石 川	809	10	81
由 良 川	京 都	1,798	12	150

3. 積雪の密度

積雪量を融かした時の水の量 (mm) と積雪深 (mm) との比を積雪の密度と云ふ、此密度は同一でなく甚だ廣い範圍で異なる數字を示して居る。

新潟縣十日町森林測候所にて同地方の積雪の密度に就て調査したるに大正 7, 8, 9, 10 年の 1 月、2 月、3 月、12 月の平均は 0.083 で最大 0.106、最小 0.063 で

あつた。又融雪期の積雪の密度は相當に大で而かも積雪の深さ大なる程大であつて、大正10年3月及4月の調査に依れば0.389~0.621 又大正12年2月及4月の實測に依れば0.303~0.582である。斯くの如く降雪直後の新しき積雪10cmの融水は8mmに過ぎないが、融雪期に於ける積雪の表面10cmの融水は40mm以上に達するから、急に温度高くなり、而かも降雨加はる時は可なりの出水あることが相像出来る。

又鳥取縣智頭測候所にて大正14年2月調査したるに密度は0.29~0.42であつた、尙同年降雪直後の新しき積雪の最小密度を計つたものは0.04であつた。

獨逸にて Hellmann 氏實驗の結果に依れば降雪後間もない雪の10mmは水の0.8~1.0mmに相當す、即ち密度は0.08~0.10である、換言すれば1mmの水深を與へる雪の深は12.5~10mmに相當す、斯く雪を融かして1mmの水深を與へる雪の深を雪の比深 (Specific depth of snow) と云ふ。即ち降雪直後のものは比深大なれども漸次比深が減する。

4. 年雨量 (Annual rainfall)

一箇年間の雨量は年により異なるのは勿論であるから長期間の觀測を基礎とし其平均を求むることが必要であつて、各地の雨量を比較するには此年雨量に依る。

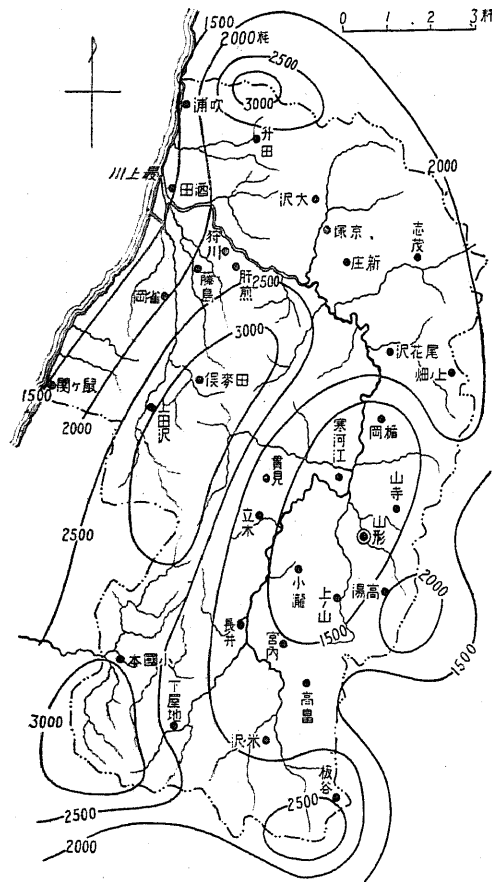
第2表 自明治44年 至昭和3年 年雨量一覽表

觀測所	府	縣	平均雨量 mm	最 大		最 小	
				雨 量 mm	年 次	雨 量 mm	年 次
臺南	臺南	灣	1,737	2,733	大正 9	685	大正 12
臺北	臺北	灣	2,205	2,658	昭和 2	1,639	大正 12
那霸	那霸	沖繩	2,030	2,662	大正 11	1,385	明治 44
名瀨	名瀨	鹿兒島	3,042	3,790	大正 5	2,245	大正 14
ラサ	ラサ	島	1,367	1,609	大正 13	1,098	昭和 1
鹿兒	鹿兒	島	2,190	2,842	明治 45	1,541	昭和 1
宮崎	宮崎	宮崎	2,586	3,508	大正 9	1,622	昭和 1
熊本	熊本	熊本	1,862	2,574	大正 12	1,222	大正 14
大分	大分	大分	1,637	2,112	大正 7	1,040	昭和 1
長崎	長崎	長崎	2,089	2,712	大正 4	1,343	大正 6
福岡	福岡	福岡	1,612	2,191	大正 12	1,238	大正 2

高松	知山	高愛	知媛	2,696	3,627	大正 9	2,015	大正 13
下關	關島	山島	媛口	1,369	2,035	大正 12	1,056	大正 6
廣島	廣島	廣島	取島	1,696	2,499	大正 12	1,418	大正 13
境	境	境	境	1,546	2,578	大正 12	1,076	大正 2
岡山	岡山	岡山	岡山	1,966	2,625	大正 12	1,572	大正 13
神戶	神戶	兵庫	兵庫	1,118	1,660	大正 12	693	大正 9
大阪	大阪	大阪	大阪	1,342	1,677	大正 10	925	大正 13
京都	京都	京都	京都	1,327	1,715	大正 10	909	大正 13
大津	大津	大津	大津	2,590	3,413	大正 10	1,971	昭和 2
京	京	京	京	1,540	2,127	大正 10	973	大正 13
大塚	大塚	大塚	大塚	4,919	8,214	大正 9	2,718	昭和 1
尾崎	尾崎	尾崎	尾崎	3,751	5,732	昭和 3	2,382	昭和 1
岐阜	岐阜	岐阜	岐阜	1,910	2,580	大正 5	1,343	大正 13
金澤	金澤	金澤	金澤	2,560	3,511	大正 6	2,125	昭和 3
長野	長野	長野	長野	998	1,253	大正 5	723	大正 13
上野	上野	上野	上野	959	1,274	大正 5	563	昭和 1
名古屋	名古屋	名古屋	名古屋	1,593	2,043	大正 10	1,102	昭和 1
沼津	沼津	沼津	沼津	1,998	2,805	明治 44	1,320	昭和 1
甲府	甲府	甲府	甲府	1,236	1,655	大正 10	776	昭和 1
八丈	八丈	八丈	八丈	3,269	4,425	大正 5	2,091	昭和 1
東京	東京	東京	東京	1,656	2,194	大正 9	1,177	昭和 1
銚子	銚子	銚子	銚子	1,775	2,300	大正 10	1,053	昭和 1
宇都宮	宇都宮	宇都宮	宇都宮	1,608	2,240	大正 9	1,012	昭和 1
足尾	足尾	足尾	足尾	1,971	2,777	大正 9	1,263	昭和 1
前橋	前橋	前橋	前橋	1,283	1,513	大正 10	968	昭和 1
新石	新石	新石	新石	1,778	2,227	明治 44	1,263	昭和 3
秋田	秋田	秋田	秋田	1,152	1,588	大正 9	755	大正 13
青森	青森	青森	青森	1,881	2,442	大正 11	1,527	昭和 3
札幌	札幌	札幌	札幌	1,472	1,940	大正 11	1,003	昭和 3
網走	網走	網走	網走	1,098	1,370	大正 11	878	大正 10
根室	根室	根室	根室	907	1,231	明治 45	633	大正 2
大泊	大泊	大泊	大泊	1,054	1,312	大正 9	832	大正 5
釜山	釜山	釜山	釜山	737	998	大正 4	460	大正 10
釜山	釜山	釜山	釜山	761	991	昭和 2	446	大正 10
釜山	釜山	釜山	釜山	1,445	1,951	明治 44	908	大正 6
釜山	釜山	釜山	釜山	1,056	1,671	大正 14	767	大正 6
釜山	釜山	釜山	釜山	1,302	1,934	大正 14	918	大正 2
釜山	釜山	釜山	釜山	833	1,145	大正 11	698	大正 6
釜山	釜山	釜山	釜山	739	1,229	昭和 3	495	大正 6

日本は四面海を環らし中央に山脈が聳えて其背髄をなして居るから降雨に富んで居る、我國に於て最も多雨なるは臺灣の北部及南部、四國及紀州の南東岸、岐阜縣の一部で、之に次ぐは九州の南部及北陸地方である、又之に反して雨量の最も少いのは北海道の北東岸及南西部、朝鮮の東岸及北部で之に次ぐものは朝鮮一帯、山陽道、甲信地方、奥羽地方の東半部である。

主要箇所における年雨量は第2表の如く雨量分布の概略を知ることが出来る。



第7圖 最上川流域昭和4年雨量圖

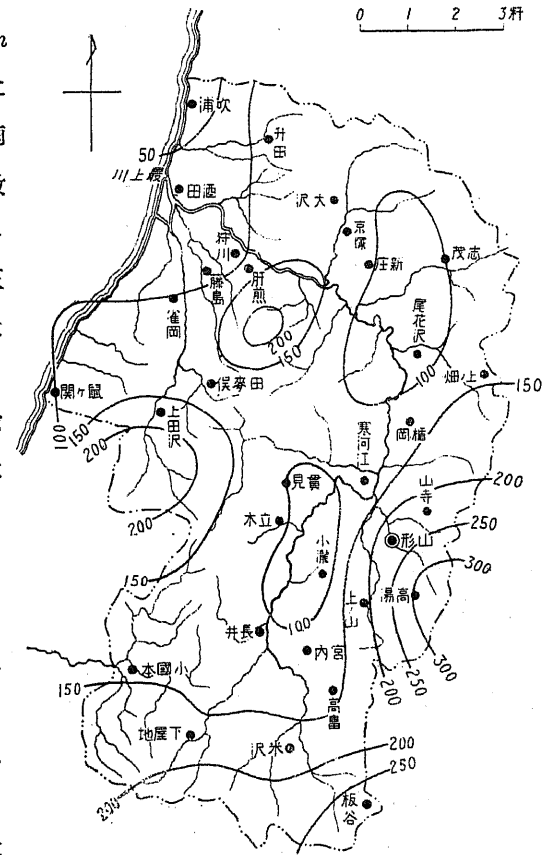
前記期間における年雨量の最大、最小を見るに東京では最大 2,194 mm (大正9年)、最小 1,177 mm (大正15年)で最大は最小の 1.86 倍に當る、尙長期間に就き考ふる時は最大と最小との比は尙増して 2.5 に達することが稀でない。

上表最大年雨量の内大臺ヶ原の 8,214 mm (大正9年)尾鷲の 5,732 mm (昭和3年)、は他に比して著しく多量である、此大臺ヶ原は新宮川(熊野川とも稱す)の支川なる北山川の水源であるから同川の洪水量は頗る巨量に達する、即ち北山川の流域 679 km² なるに大正14年8月の洪水量は 13,800 m³/sec で、1 km² に

付 20.3 m³/sec となる。

雨天日數 日雨量 0.1 mm に達せざる時は雨天日數に計上せず、東京に於ける雨量 0.1 mm 以上の雨天日數は明治44年乃至昭和3年の18箇年間に於ては大正13年の119日を最小、大正12年の170日を最大とし、平均146日である、尙雨量 1.0 mm 以上の日數は大正9年の127日を最大、大正11年の98日を最小とし平均110日である。

等雨線及雨量圖 年雨量の等しき地點を連ぬる線を等雨線 (Isohyetal) と云ひ、等雨線を示した圖を雨量圖 (Rain map) と云ふ。第7圖は最上川流域昭和4年



第8圖 最上川流域大正2年8月26日雨量圖

の雨量圖、又第8圖は同川流域に最大洪水を起した大正2年8月26、27日の雨量圖である。

歐米都市の年雨量 歐米主要都市における平均年雨量は大體に於て我國に於けるより著しく少ない其數例を掲ぐれば第3表の如し。

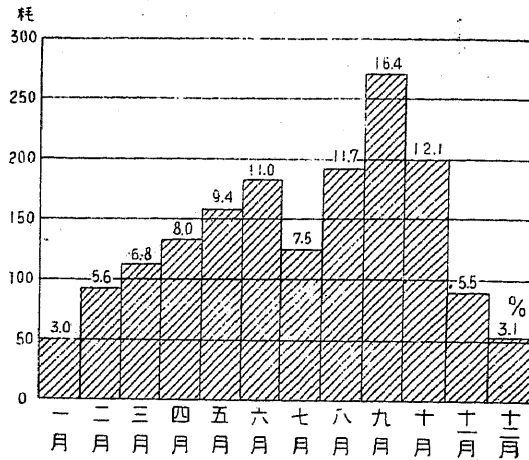
5. 月雨量 (Monthly rainfall)

毎月の雨量の變化を知れば一年の間に於ける雨量分布を知ることが出来る、此月雨量は年雨量よりも河川工學には重要なものである、即ち此の變化が河川の

第 3 表

歐米主要都市年雨量

都 市	年 雨 量 mm
Berlin	583
Wien	566
Leningrad	426
Stockholm	437
Oslø	583
London	613
Brussels	728
Budapest	640
Paris	537
Rome	827
Madrid	412
New York	1,095



第 9 圖 東京月雨量分布圖

水位に直ぐ影響する。

明治 44 年より昭和 8 年に至る 18 箇年間の東京市に於ける平均年雨量は 1,656 mm であるが其期間に於ける平均月雨量の分布を示せば第 9 圖の如くなる。即ち 9 月雨量 271 mm にて最も多く、10 月、8 月之に次ぎ、1 月 49 mm で最小である。又東京の最大月雨量は大正 14 年 9 月の 492 mm であるが、大臺ヶ原に於ては大正 9 年 8 月に 2,755 mm の多量に達したことがある。尚東京の最小月雨量は大正 6 年 12 月の 6 mm である。

6. 日雨量 (Daily rainfall)

1 日 24 時間内に於ける最多雨量は以前には明治 23 年 8 月 20 日 和歌山縣田邊の 952 mm であつたが、大正 12 年 9 月 14 日には奈良縣大臺ヶ原に於て 1,011 mm に達し、田邊の最多記録を突破して本邦内地に於ける最多記録を示すに至つた。東京では大正 14 年 9 月 30 日に最多日量 219 mm を示して居る。

河川工學に於ては一日の最多雨量も必要であるが屢々連続降雨期間中の全雨量を調査の基本として用ふこともある。前記大臺ヶ原にては大正 12 年 9 月 13 日午前 1 時 5 分より 15 日午後 9 時 40 分迄連續 68 時 35 分間に亘り總量 1,612.5

mm に達し、平均 1 時間に

13 mm 餘の割合を示して居る。尚各地の最大日雨量 400 mm 以上のものを掲ぐれば第 4 表となる。

7. 1 時間雨量 (Hourly rainfall)

1 時間雨量の甚だ大なることがある、之は豪雨が短時間續くからである、而して之は下水其他の設計等に極めて必要なるもので、此記録的のものは千葉縣銚子の 123.3 mm である、東京では明治 44 年 8 月 10 日の 69.2 mm を最大とし、明治 41 年 9 月 30 日の 55.7 mm 之に次ぐ。各地の 1 時間最大雨量 80 mm 以上のものを掲ぐれば第 5 表となる。

尚河川の流出量計算等に當り四時間雨量を用ふることがあるが之れが 200 mm 以上のものは第 6 表の 5 箇所である。

8. 雨量の概念

雨量は前述の如く凡て其深さにて表はすが實際の量の大概を知るの便なることがある。今 mm にて示した雨量に 1,000 を乗すれば 1 km² に降つた量が m³

第 4 表 最大日雨量

測 候 所	雨 量 mm	起 年 月 日
彦 根	596.9	明治 29 年 9 月 7 日
名 瀬	547.1	〃 36 年 5 月 29 日
宮 崎	490.2	〃 19 年 9 月 24 日
臺 東	467.5	大正 7 年 7 月 30 日
德 島	463.4	〃 1 年 10 月 2 日
大 分	443.7	明治 41 年 8 月 10 日
那 覇	427.0	〃 39 年 11 月 11 日
臺 中	411.6	〃 31 年 8 月 7 日

第 5 表 1 時間最大雨量

測 候 所	雨 量 mm	起 年 月 日
銚 子	123.3	大正 10 年 8 月 3 日
宮 崎	100.2	〃 5 年 9 月 22 日
岐 阜	99.6	〃 3 年 7 月 24 日
石 垣 島	96.3	〃 13 年 7 月 14 日
那 覇	92.6	明治 43 年 8 月 8 日
名 古 屋	92.0	大正 8 年 7 月 18 日
大 分	90.5	明治 41 年 8 月 10 日
長 崎	87.7	大正 12 年 9 月 5 日
德 島	85.4	〃 1 年 10 月 2 日
京 都	83.4	〃 7 年 8 月 15 日

第 6 表 4 時間最大雨量

測 候 所	雨 量 mm	起 年 月 日
廣 島	286.2	大正 15 年 9 月 11 日
大 分	284.7	明治 41 年 8 月 10 日
宮 崎	277.5	大正 5 年 9 月 22 日
名 瀬	269.8	〃 4 年 6 月 16 日
石 垣 島	226.0	明治 30 年 11 月 4 日

で出る、例へば 200 mm の雨量があつた時には 1 km^2 に $200 \times 1,000 = 200,000 \text{ m}^3$ の雨が降つたのである。

又 mm で示した日雨量を 90 (精確なる數字は 86.4) で除すれば 1 km^2 當の平均雨量が m^3/sec で出る、例へば日雨量 200 mm の時は $\frac{200}{90} = 2.2 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ である。

同様に 4 時間雨量を 14.4 で割り、又 1 時間雨量を 3.6 にて割れば降つた量が $\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ で示される。即ち 4 時間雨量 144 mm なる時に $10 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ となり、1 時間雨量 54 mm なる時は $15 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ である。然し實際河川の流出量となるものは此中の何割かを占むるのである。

第二節 蒸 發

蒸發 (Evaporation) なる現象は河川並に運河等の流量に影響があるから河川工学上緊要なる問題である。蒸發量の測定は甚だ困難で又正確なることは出来ぬ、而して蒸發量は雨量と同じく水の深さとし mm で示す。

蒸發は水面、地面及草木より起り蒸發量の多少は種々の原因に依つて異なるものである、即ち水面、地面よりの蒸發は異なり、又気温、氣濕、氣壓、風力、雨の強さ、地表の地質、地盤の傾斜及土地の草木繁茂の状態等は主なる要素である。之等の中気温、氣濕、氣壓、風力、雨の強さ等は水面、地面孰れにも關係し、其他のものは地面のみに關係を有して居る。

一般に温度高ければ蒸發多く、大氣中に水分が多ければ蒸發は遅く、氣壓が高ければ蒸發は少ない、又風速と共に蒸發量は増大する、尙豪雨が短時間に起る時は雨量の大部分は流去して蒸發が少ない、之れに反して弱い雨が長く降れば蒸發が多い。

1. 水面よりの蒸發

一般に蒸發量は開放したる水面からの蒸發を標準としたもので、水面からの蒸發量を計るには蒸發計 (Evaporimeter) がある、之れは直徑 10 cm、深 10 cm の圓筒形で其内部に一定量の水を入れ觀測時に至り殘量を計つて蒸發量を知るの

ある、其蒸發量は気温、日射程度及風速等に關係あるは當然である。

小なる水面よりの蒸發は廣大なる水面の蒸發より大である、故に河川及運河に於ては海上より多い。開放したる水面よりの蒸發は裸地よりの蒸發より大なり、之れに反して植物の生育する土地の蒸發より著しく小である。此水面よりの蒸發は或る箇所にては雨量より大である、斯かる箇所の湖水面は漸次低下するを免れない。

年蒸發量は土地に依り著しく差違がある、又同一土地にても年により異なり又月、日、時間により著しく變化がある。我國にては月蒸發量及日蒸發量は 7、8 月に最も多く、又 1 時間蒸發量は日中に最大にして夜中の最小量の 4 倍乃至 5 倍に達す。

東京に於ける大正 14 年より昭和 4 年に至る 5 箇年間の蒸發量は第 7 表の如く、8 月最も多く、2 月最も少く、年蒸發量は年雨量に對し 0.67 である。

第 7 表 東京に於ける蒸發量 (mm)

月	大正 14 年	大正 15 年	昭和 2 年	昭和 3 年	昭和 4 年	平均	各月百分率
1	64.0	70.5	58.3	47.0	60.9	60.1	5.6
2	52.8	69.1	53.6	56.2	62.1	59.4	5.6
3	108.8	86.8	88.3	83.1	85.0	90.4	8.5
4	91.9	114.7	103.8	113.0	94.7	104.2	9.7
5	108.2	93.5	125.4	132.1	84.7	108.8	10.2
6	103.6	113.4	113.7	80.8	128.3	109.0	10.2
7	135.5	144.0	133.2	113.0	155.6	136.3	12.7
8	127.8	144.6	153.8	99.8	178.2	141.4	13.2
9	95.3	95.5	81.9	101.7	69.6	88.8	8.3
10	63.5	86.9	78.3	59.1	57.6	69.1	6.5
11	54.4	75.6	55.5	51.1	39.3	55.2	5.2
12	53.3	49.8	44.6	47.3	37.4	46.5	4.3
年蒸發量	1,064.1	1,144.4	1,099.4	984.2	1,053.4	1,069.1	100.0
年雨量	1,713	1,177	1,445	1,749	1,910	1,599	—
年蒸發量 年雨量	0.62	0.97	0.76	0.56	0.55	0.67	—

尙同期間に於ける數箇所の測候所の平均年蒸發量を掲ぐれば第 8 表の如くなる。

第 8 表 蒸 發 量 及 雨 量 比 較

測 候 所	年 蒸 發 量 mm	年 雨 量 mm	年 蒸 發 量 年 雨 量	一日平均蒸發量 mm
釜 北	1,022.4	2,168.9	0.47	2.80
熊 本	1,318.6	1,681.6	0.78	3.61
廣 島	1,231.5	1,410.4	0.87	3.37
東 京	1,069.1	1,598.8	0.67	2.93
沼 津	1,207.5	1,654.9	0.73	3.31
甲 府	1,276.0	1,199.1	1.06	3.50
盛 岡	1,068.1	1,059.3	1.01	2.93
札 幌	1,000.6	1,110.4	0.90	2.74

本表の示すが如く一日平均蒸發量は大體 3~4 mm である。

農林省林業試験所にては山岳地方に於ける氣象を知るために主要河川の水源地方に數多の森林測候所を設置してある。昭和 4 年に於ける同所の蒸發量調は第 9 表の如く年蒸發量は 1,000 mm 内外であつて、一日平均蒸發量は 2.2~3.6 mm、

第 9 表 昭和 4 年森林測候所蒸發量

番 號	測 候 所	所 在 地	雨 量 mm	蒸 發 量 mm	蒸 發 量 雨 量 %	一 日 平 均 蒸 發 量 mm	一 日 最 大 蒸 發 量 mm	平 均 氣 溫 °C	海 面 上 の 高 m
1	霧 島	鹿児島縣始良郡牧園村	2,363.5	956.0	40.4	2.6	9.5	13.5	652
2	矢 野	熊本縣球磨郡藍田村	2,566.5	1,187.2	46.3	3.2	9.6	12.9	573
3	北小國	熊本縣阿蘇郡北小國村	2,025.2	1,147.5	56.7	3.1	8.8	12.2	433
4	梅 原	高知縣高岡郡梅原村	2,230.3	1,031.7	45.6	3.3	8.5	12.8	467
5	本 山	高知縣長岡郡本山町	2,179.9	904.6	41.5	2.6	7.7	13.4	372
6	十日市	廣島縣雙三郡十日市町	1,159.1	959.1	82.7	2.7	7.6	12.7	219
7	智 頭	鳥取縣八頭郡智頭町	1,789.1	935.4	52.3	3.0	8.2	12.6	227
8	根 尾	岐阜縣本巢郡根尾村	2,370.7	1,240.5	52.3	3.6	10.4	12.6	191
9	木 祖	長野縣西筑摩郡木祖村	2,157.6	973.3	45.1	3.2	7.9	7.6	1,190
10	井 川	静岡縣安倍郡井川村	3,050.9	787.8	25.8	2.2	8.8	11.2	775
11	伊香保	群馬縣群馬郡伊香保町	1,584.7	893.2	56.4	2.9	8.6	10.4	691
12	勝 山	福井縣大野郡勝山町	2,477.7	1,022.1	41.3	3.4	13.2	12.6	169
13	十日市	新潟縣中魚沼郡十日市町	2,688.9	899.8	33.5	3.2	12.0	11.4	220
14	白 河	福島縣白河郡白河町	1,411.6	1,141.1	80.8	3.1	8.2	10.8	390
15	沼 尻	福島縣耶麻郡吾妻村	1,586.4	972.7	61.3	2.9	10.0	7.8	803
16	角 館	秋田縣仙北郡角館町	1,736.6	1,035.3	60.8	2.9	9.6	10.3	84

又一日最大蒸發量は 7.9~13.2 mm である、而して蒸發量の雨量に對する割合は大體に於て雨量少き程大である。

今以上 16 森林測候所に於ける年雨量を N 、蒸發量と雨量との比を P とし兩者の關係を $P = aN + b$ とし最小二乗法により a 及 b を求むるに

$$a = \frac{n[PN] - (N)[P]}{n[N^2] - (N)^2}, \quad b = \frac{[P][N^2] - (N)[PN]}{n[N^2] - (N)^2}$$

此結果を圖示すれば第 10 圖の如く

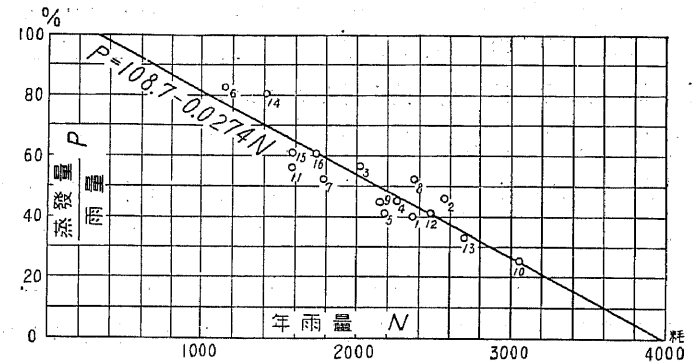
$$P = 108.7 - 0.0274 N \quad \text{となる。}$$

岐阜縣白鳥森

林測候所にて蒸發計を地表に置いた時の蒸發量と、蒸發計を水面に浮べたる場合とを比較したことがある。

蒸發計を浮べた

池は略正方形に



第 10 圖 雨 量 と 蒸 發 量 と の 關 係

て長 7.3 m、幅 6.6 m 其中に小さき島があつて水面積は約 43 m²、深さ 0.40~0.50 m であるが其觀測の結果は第 10 表の如く水面のものは地表に置けるものゝ約半分である。

第 10 表 蒸發計を地表及水面に置きたる場合の比較

観 測 期 間	水面に置きたるもの蒸發量 mm	地表に置きたるもの蒸發量 mm	兩 者 の 比
大正 12 年 6 月 ~ 10 月	272.2	551.6	0.49
大正 13 年 4 月 ~ 11 月	762.5	1,434.9	0.53

之れに依れば普通蒸發計で計つた蒸發量は實際の廣き水面よりの蒸發量の大體 2 倍に達して居る様にも推測せられる。

2. 地面よりの蒸發

地面よりの蒸發は水の滲透と密接なる關係を有して居る、一般に土壤の含有水量の多少、地下水水位の高低、土壤の種類、地面の色澤及粗滑、地盤の傾斜、地表の状態、植物の有無等は地面蒸發に少からざる影響を有して居る。

即ち土壤中の濕氣が多い時は蒸發量大なり、又地下水々位高い所では蒸發が多く地下水低ければ蒸發は少ない。次に地中の水分は毛管作用に依り上昇し、土壤の粒が微細なる時は水分は高く昇るが其進行は緩である、即ち粘土質の土壤では毛管作用により 2m 迄上昇するが砂質のものでは 0.4m に過ぎず、依つて地下水が高く地表が毛管作用で常に濕つてゐる時には降雨がなくば粘土質土壤の蒸發の減少は砂質のものより早い、即ち砂の蒸發量大なり、然しながら地下水が低い所では砂質のものは蒸發が粘土質より少ない。

又土地の色も蒸發量に關係を有す、即ち暗黒色の土地は蒸發が多く白色の箇所は蒸發が少ない、白色を 1 とすれば其の割合は次の様になつて居る。

白色	黄色	褐色	灰色	黒色
1.00	1.07	1.19	1.25	1.82

地面の粗滑に關しては波狀をなし凹凸あるものは平滑なるものゝ 1.2 倍となつて居る。

傾斜の急なる所では雨が地表水として早く流れ去るが平坦なる所では地表水となつて流れ去ることが少なく従つて蒸發が多くなる。

蒸發量は土地が裸地なるか林地、畑地、草生地等なるかにより著しく差違を呈する、又植物の種類に依つて異なる。地面が樹木を以て被覆せらるゝ時は降雨の地上に達するを阻止し又一面日射及風を防ぐから地面よりの蒸發は減する、又落葉等で覆はるゝ時も亦蒸發は裸地に比して減する、然し芝等が生育する時には之れに反して蒸發が増大す。

森林内外の蒸發 我國の森林測候所にて森林内外の蒸發量を調査發表せられたものが多數あるが、妙義測候所に於ける大正 2~5 年の 4 箇年間平均の月別比較は第 11 表の如くである。

林外蒸發量は測候所の觀測露場にて測定し
林内蒸發量は 林外測候所の 南方約 300 m の
箇所にある約 3 ha の杉純林の一部に於て測定したものである。杉林の年齢は 26 年（大正 5 年現在）にして鬱閉度は 0.7、成長は普通である。第 11 表を見るに林外にては 5 月最大、11 月最小、林内にては 1 月最大、9 月最小である、又林内の林外に對する百分率は全年にては 37、1 月の 60 を最大、8 月の 18 を最小とし林内の蒸發量は 林外に比し單純なる關係をなさず。上記の如く森林は地表の水分蒸發に著しき影響を及ぼすことが認め

られる、尙其他の森林測候所のものを總括すれば第 12 表の如くなる。

第 12 表 森林内外蒸發量

測候所	流域	樹種	觀測年次	林内蒸發量 林外蒸發量 %	鬱閉度	樹齡 年
妙義	利根川	針葉樹	大正 2~5	37	0.7	27
伊香保	"	闊葉樹	大正 2~6	28	0.6	60
"	"	針葉樹	大正 3~6	33	0.6	60
日光	鬼怒川	闊葉樹	大正 3~6	48	0.7~0.8	50~200
大箕山	淀川	"	大正 5~6	34	0.6	15~33
松山	"	針葉樹	"	31	—	28
周山	"	"	"	26	0.6	30
小石原	筑後川	"	"	43	0.5	20
北小國	"	"	"	24	0.8	31
森町	"	"	"	23	0.8	30
沼宮内	北上川	"	"	32	0.7	20
勝山	九頭龍川	"	"	37	0.7	27
三峰	荒川	"	"	22	—	180
本山	吉野川	"	"	33	良好	22
豊田	最上川	"	"	51	0.5	24
院内	雄物川	"	"	33	0.9	23

第 11 表
妙義測候所月別森林内外蒸發量

月別	林内 mm	林外 mm	林内 林外 %
1	36.9	61.1	60
2	29.6	58.2	51
3	35.4	82.3	43
4	33.3	89.0	37
5	36.0	100.3	36
6	20.4	77.2	26
7	19.5	93.9	21
8	16.8	95.9	18
9	14.8	69.1	21
10	19.1	62.5	31
11	21.4	53.2	40
12	32.7	56.1	58
全年	315.7	898.4	37

獨逸の森林にて調査した結果によるも森林内の蒸發は森林外の蒸發の 30～40 % 餘に相當して居る。

Ebermayer 氏は 5 月より 9 月に至る期間に於ける 常に濕氣を帯びたる 土地よりの蒸發を調査し水面よりの蒸發を 1 とし次の如き數字を發表した。

水面よりの蒸發 (森林外)	1.00
水面よりの蒸發 (森林内)	0.36
裸地よりの蒸發 (森林外)	0.93
裸地よりの蒸發 (森林内)	0.35
森林内の落葉で被覆せられたる土地よりの蒸發	0.13
該期間内の雨量	0.95

之によれば裸地よりの蒸發は水面よりの蒸發より稍少ないのみである。

又 Wollny 氏は芝地、森林及裸地に於て蒸發量に就き實驗し次の如き結果を得た。

土地の種類	水面の蒸發量に對する比率
芝 地	1.92
畑 地 (小麥)	1.73
森 林	1.51
裸 地	0.66

上記中植物育成地の蒸發量は其地表面の蒸發量の外に植物體に保留せられたる水分の蒸發及植物の通發作用に依て蒸散する量が加はつて居る。此の結果によるも芝地、畑地は森林より蒸發量多量にして又裸地に比し著しく多い、殊に植物の成長する時には蒸發が多量である。

若し上表に依り裸地の蒸發が蒸發計にて計りし水面の蒸發の 66 % に相當するものとする時は、地上よりの蒸發量と年雨量との割合は第 8 表の年蒸發量と年雨量との比に更に 0.66 を乗すれば宜しく其結果は臺北 0.31、熊本 0.51、廣島 0.57、東京 0.44、沼津 0.48、甲府 0.70、盛岡 0.67、札幌 0.59、平均 0.54 である。

3. 森林の降水遮斷作用

森林に降雨ある時は雨量の一部は樹冠に遮斷せらるゝから一般に林地に降下する雨量は林外地よりも少ないが、一旦樹冠に保留せられしものゝ内一部は其儘蒸發するが、一部は漸次樹幹を傳はつて降下す。林地に降下する雨量と林外地の雨量との比は林況により異なるが大體 60～80 % である。而して樹幹流下雨量も蒸發量との割合は降雨の強度及全量並に其繼續時間に關するのみならず樹種及樹形に關係し非常なる相違があり森林測候所にて毎年 4 月より 10 月に至る 7 箇月間觀測せし數例を第 13 表に掲ぐ。

第 13 表 森林測候所林内外雨量及樹冠蒸發量

種 別	松 山		北 小 國		妙 義	
	總量 mm	%	總量 mm	%	總量 mm	%
林外雨量 (1)	1,342.4	100.0	1,735.1	100.0	1,575.8	100.0
林内雨量 (2)	1,081.1	80.6	1,345.2	77.5	1,366.9	86.7
樹幹流下雨量 (3)	196.4	14.6	155.6	9.0	24.7	1.6
推定蒸發量 (1)-(2)-(3)	64.9	4.8	234.3	13.5	184.2	11.7
觀 測 年 次	大 正 4～9 年		大 正 4～9 年		大 正 3～9 年	
樹 種	杉、檜		杉		杉	
鬱 閉 度	良		0.8		0.8	
樹 齡	29 年		30 年		25 年	

第三節 滲透

地表に降りし雨水の一部は地表を流下し、一部は其儘蒸發し又他の一部は地中に滲透して地下水となる。而して滲透 (Percolation) は蒸發と密接なる關係を有し滲透を増す原因は蒸發を減ずる原因となるのである。

滲透量を計るには滲水計 (Lysimeter) を用ひる、滲透量測定に就ては從來種々の實驗があるが其結果に依れば雨量の 20～80 %、平均 40 % 餘である。

滲透は雨量土壌の種類、氣候、季節及地表の状態等に關係を有して居る。Wollny 氏の研究に依れば裸地では滲透量は雨量と共に増減し、蒸發が少ければ滲透は大となり、又土地が滲透性に富んで居る時は滲透大となる。即ち砂地にては滲透最も著しく、粘土質の土地では滲透が少ない、而して砂に粘土を少しく混ぜる

時は滲透性は著しく減する、實驗によるに粘土を 3 割餘混すれば充分であつて、之れ以上粘土の量を増しても滲透性に影響することが少ない。

又土地が既に水分を含んで居る時は滲透量の少ないのは勿論である。雨水が地中に進入する速度は一定しないが、砂質にては 1 時間に約 1 m、粘土質にては 10 ~ 20 mm である。

氣候と滲透との關係に就て云へば夏期に於ては土地が乾燥して居るから多量の降雨ある時のみ滲透して地下水となるが、冬期に於ては少量の降雨あつても相當量の地下水を見ることがある。尙降雪の初期に土地が既に凍つて居た時は融雪するも大部分は地上水となつて流去する、之がため河川の流量が急に増大する事がある、即ち嚴寒の後に降雪量多く、其後急に融雪する時は意外の出水を來たし、一面滲透水の蓄積がよいから湧水を見るに至ることがある。

之に反して降雪の初期に土地が凍て居ない時は融雪に際し容易に滲透し多量の地下水を見ることがなり、之がため地上水は減少し出水の虞なく又將來湧水に際しても比較的流量が豊富となる。

地表の狀態に就て論すれば、土地の傾斜急なる森林では雨水の流下が障害物の爲に阻止せらるゝから、裸地に比べて滲透は増す、即ち山地に於ける森林を伐採せしために其麓に在る泉の湧水量減じ、或は全く枯渇することあるは此理由に依る。又土地が落葉、砂等で被覆せらるゝ時は蒸發が減ずるために滲透は増す。之に反して芝等が生育する時は滲透は裸地に比して著しく減する、殊に夏期に於て其影響が大である。斯くして滲透したる水は重力の作用により下降し、不滲透質の土壤に達して地下水となつて貯溜せられ或は更に地表に流出する、此地下水が再び地表に現はるゝのが泉である。

第四節 地上水

地表に降つた雨水は一般に重力の法則に従ひ傾斜ある地表を流れる、又一旦地下に滲透したるものも大部分は再び地上に流出し、共に地上水(Surface water)となる。之等の地上水は地表の凹所を流るゝが漸次細流となり、茲に於て初めて自

然に流路(Water course)が出来る、水量増すに従ひ其大さ擴大し、溪流に集り、支川に注ぎ遂に幹川に合流して海又は湖沼等に入る、之が所謂河川である。

多くの河川は恰も樹枝の繁れる如く數多く支川を有し、又下流に於ては樹根の如くに幾多の派川が分派して居るものもある、而して之等の支川、派川及幹川が一つの水系を組織して居るのである。