雨滴の粒径分布について (II)

大 内 浩

(秋田大学学芸学部)

On the Size Distribution of Raindrops (II)

By K. Ouchi

Akita University, Akita, Japan

(Manuscript received 17 June, 1958)

Abstract

Sizes of about 167,000 raindrops in 31 rainfalls are measured by filter paper method. The time-average distributions of raindrops with size during about an hour of each rainfall are examined and classified into four types, according as in what degree they are discrepant with the equivalent Marshall-Palmer distribution which has equal rate of rainfall to them.

A-type shows the distribution almost similar to the equivalent M-P-distribution except the deficiency of drops smaller than 1.4 mm in diameter.

B-type shows the excess of drops larger than about 1.8 mm, especially at the largest end of dropsizes, and remarkable deficiency of drops smaller than about 1.6 mm. Notwithstanding the excess of relatively large drops, the rain of this type has slight rate of precipitation, not exceeding 3 mm/hr.

C-type shows the excess of middle size drops in comparison with the equivalent M-P-distribution.

D-type shows the excess of drops smaller than 1.4 mm as compared with the equivalent M-P-distribution.

3. Types of Distribution

筆者が秋田市で行った雨滴観測の中で、一と雨から 1000 粒以上の sample を採取したものが、1958 年 4 月末までに 31 降雨 (約 167,000 粒) ある。この 31 回の降雨に際しては、いずれも約 1 時間の間に、2 分間隔で 5 秒ないし 10 秒ずつろ紙を雨にさらして sampling を行った。1 時間で 30 枚のろ紙をさらし、合計約 5000 粒の雨滴を採取するのが普通であった。この約 1 時間の間の粒径分布の時間的平均を型別に分類しようというのが本節の目的である。

もちろん、瞬間的な粒径分布の型は千差万別で降雨中刻々変化しているわけであるが、1 時間程度の間の平均分布となると、そう多くの型があるとは思えないが、また一方では、例えば Marshall-Palmer 分布一色しかないとも思えない。また、現観測法ではしゅう雨性降水とそうでない降水とを判別して観測するように規定されているが、こ

の判別の基準が定量的でない。これをこのまま放置しておいてよいのか、粒径分布の方からもう一度見なおしてみる必要はないだろうか、というようなこともこの分類を試みる理由の一つである。さらに、Bergeron Type の雨と Warm Rain との差がこの平均粒径分布の上に現われるかも知れないという淡い期待を筆者が持っていたことも事実である。

分類の目安として「Marshall-Palmer 分布との一致の工合」を用いた。つまり、同じ降雨強度をもつ Marshall-Palmer 分布と比較して、中粒以上の部分がかかなりよく一致するものを A 型、小中粒の部分の数が少く大粒の方の端の部分だけが多いものを B 型、中粒の部分の数が多いものを C 型、小粒のものの数が多いものを D 型と分類した。

Marshall-Palmer 分布を表わす実験式としては、彼等が J. Met., 5, p. 165 (1948) に発表した有名な

$$N_d \text{ (cm}^{-4}\text{)} = 0.08e^{-xd}$$

$$x = 41R^{-0.21} \text{ (cm}^{-1}\text{)},$$

R =rainfall rate (mm/hr),

d =raindrop diameter (cm)

を用いた。この式は、warm front 型の steady rain についての平均粒径分布をよく表わすといわれている。そして原著書によれば、 $xd < 4.5$ になるような小粒の部分については、この式は実際よりも多過ぎる粒数を与える由である。事実、筆者の実地観測の結果も、前述の D 型の場合を除き、すべての降雨の粒径 1 mm ないし 1.4 mm より小粒の部分はこの式の与える雨滴数より数が少ないことを示している。したがって、この式はこういう小粒の部分については実地と合わないのであるから、下記で分類のために比較する場合にも、この小粒の部分がこの式のものより数が少ないのは極端に少ない (B 型) のでない限り問題にしない。また、この式はこのように降雨の型についても粒径の範囲についてもきびしい条件付でない

実地に適合しないものであるが、これを分類のための比較基準としてとり上げることは、これらの条件をとりはずした場合のこの実験式の実地への適合性を認めることは別問題である。

(A) A-Type

これは、中粒より大きい部分が M-P 分布とかなりよく一致し、小粒の部分が少いもので、前報告¹⁾の Fig. 3 はその典型的な例であるが、ここでは別の例、Fig. 4 を示す。

同じ降雨強度の M-P 分布は図で破線で示してあるが、直径 1.5 mm 附近より大粒の部分はこれとかなりよく一致していることが認められる。小粒の部分の不一致については前述のように解釈をして、この A 型は M-P 分布そのものであると言ってよいと思う。この型は、31 回中に 12 例あった。その 1 時間平均降雨強度は 1 mm/hr ないし 8 mm/hr のものが多く、1 mm/hr 以下の微雨は 1 例もなかった。

(B) B-Type

Fig. 4. A-type
1956, 10, 9, 9h30m-10h40m,

$$\bar{R} = 6.59 \text{ mm/hr}$$

----- Marshall-Palmer Distribution
($R = 6.59 \text{ mm/hr}$)

Fig. 5. B₁-Type
1958, 4, 14, 13h16m-14h14m,

$$\bar{R} = 0.922 \text{ mm/hr}$$

----- Marshall-Palmer Distribution
($R = 0.922 \text{ mm/hr}$)

この型は 31 回中 10 回出現したが、いずれも 1 時間平均降雨強度が弱く 3 mm/hr 以下であり、しかも大部分 (6 例) は 1 mm-hr 以下の微雨であった。かかる 弱雨または微雨であるにもかかわらず、その割には大粒の部分の数が比較的多いのがこの型の特徴である。すなわち、直径 1.4 mm ぐらいより小粒の部分は M-P 分布にくらべて遥かに数が少なく、直径 1.6 mm ぐらいより大粒のものが多く、特に、大粒の方の端の部分の数が多く、この型はさらに B₁ 型と B₂ 型に分けられる。そして 10 例の B 型のうち B₁ 型は 3 例、B₂ 型は 7 例であった。

(i) B₁-Type

雨の強さの割には粒数が少く、且つ大粒のものが降るのでパラ雨持続型とでも称すべきものである。Fig. 5 に示した如く、分布曲線は対応する

M-P 分布 (破線) にくらべて傾斜が遥かにねている。

この型の粒径分布は、乱流の少ない静穏な気流状態の気層中を静かに落下する雪片がとけて生じたものと推定される。その間接の証拠として、同じく B₁ 型に属する 1958 年 2 月 24 日 16h40m-17h38m の雨の粒径分布を Fig. 6 に示す。

この雨は風が静穏のとき降ったのであるが、測定期間の丁度中央すなわち 17h10m ごろからみぞれとなり、測定期間の終りごろはほとんど雪になったものである。図には、全体の平均粒径分布を実線で、前半の雨のものを点線で、後半のみぞれのものを鎖線で示してある。前半と後半を比べてみればわかるように、後半すなわち、みぞれとなつてから後では、直径 1.3 mm より小粒の部分が前半より減り、1.3 mm より大粒の部分が増して、

Fig. 6. B₁-Type

- 1958, 2, 24, 16h40m-17h38m,
 $\bar{R}=0.535$ mm/hr
- 1958, 2, 24, 16h40m-17h08m,
 $\bar{R}=0.37$ mm/hr, Rain
- 1958, 2, 24, 17h10m-17h38m,
 $\bar{R}=0.70$ mm/hr, Sleet
- Marshall-Palmer Distribution
($R=0.535$ mm/hr)

Fig. 7. A Distribution of Melted Diameters of Flakes and Particles in a Snowfall (1958, 1, 29, 16h30m-16h58m, $\bar{R}=0.289$ mm/hr)

- } Snowflakes
- ×—× Ice Particles
- Marshall-Palmer Distribution
(0.289 mm/hr)

分布曲線の傾斜がねてきて B 型の特徴を顕著にしている。

さらにもう一つの間接的証拠として、静穏な時の降雪（あらは全然含んでいない）雪片及び氷粒を同質量の雨粒に換算した場合の粒径分布（1958 年 1 月 29 日, 16h36m-16h58m, $\bar{R}=0.289$ mm/hr）を Fig. 7 に示す。

○——○印は雪片の, ×——×印は個々に分れている氷粒の melted diameter の分布であり, α——α印は両者の和である。この両者を加えた分布曲線は図に太い実線で示されているが、これがいかに B₁ 型に似ているかに注意せられたい。上空で生じたこのような降雪が上空で融けて落下してくると、途中で小粒の部分は蒸発する率が多いのであるから、地表に達したときの粒径分布はますます B₁ 型に似てくるにちがいない。

(ii) B₂-Type

Fig. 8. B₂-Type

○——○ 1958, 3, 26, 9h10m-10h08m

$\bar{R}=1.647$ mm/hr

×---× The same rain as above except when the raindrops are measured at 9h22m and 9h40m

----- Marshall-Palmer Distribution ($R=1.647$ mm/hr)

Fig. 8 に示すごとく、直径の大きい方の端の部分だけが M-P 分布に比べて特に数が多いもの。この粒径分布は、1 mm/hr 前後あるいはそれ以下の微弱な雨のつづいている中で時々軽い shower 的な強まりの起ることによって作られる。図に示した降雨強度の時間的変化を見れば、このような shower 的な強まりが 2 回現われているが、この 2 回の方だけを除いた粒径分布を図中に × 印で示してある。この 2 回を除いただけで平均降雨強度は 1.647 mm/hr から 0.89 mm/hr にへり、直径 1.7 mm 以上の部分は甚だしく数が減少して、粒径分布曲線はもはや B 型の特徴を失って A 型になってしまっている。この例からして、B₂ 型の特徴である所の、大粒の方の部分の粒数の増加が、shower 的に強く降った時にもたらされたものであることは明瞭である。B₂ 型は全部で 7 例あったが、いずれもこのような shower が混っているものか、或いは少なくとも対流雲 cell の通過によると思われるような降雨の或る程度の強まりと

Fig. 9. C-Type

1958, 4, 21, 9h08m-10h06m,

$\bar{R}=8.44$ mm/hr

----- Marshall-Palmer Distribution ($R=8.44$ mm/hr)

その直ぐ後につづく衰弱とを含んでいるものであった。

(C) C-Type

Fig. 9 の如き分布であつて、M-P 分布にくらべて中粒のもののすなわち 1.4mm 附近から 2.4mm

Fig. 10. D-Type
1957, 7, 8, 16h36m-17h34m,
 $\bar{R}=11.65$ mm/hr
----- Marshall-Palmer Distribution
($R=11.65$ mm/hr)

附近までの直径のものの数が多い。31 降雨のうち 6 降雨がこの型に属しており、平均降雨強度は 2 mm/hr と 10 mm/hr との間にある。すなわち大体並雨の強さである。降り方はほとんど steady であるが、対流性の cell の存在を思わせるような相当激しい強度変化を示すものもある。なお、6 例全部が 4 月下旬から 5 月上旬迄と 9 月とに降った雨であつて、季節と何等かの関係があるのかもしれない。

(D) D-Type

Fig. 10 の如く小粒 (0.4 mm ないし 1.4 mm) の部分が非常に粒数が多いもので、31 降雨中 3 降雨がこれに属している。図の例は 16h36m から 17h34m までの平均降雨強度が 11.65 mm/hr もあつてしかも、この前後相当長時間降り続き、このため秋田県中央部に小水害を生ぜしめた時のものである。他の 2 例は平均降雨強度が 0.47 mm/hr および 0.39 mm/hr といずれも弱い。したがって、図の例と他の 2 例とは降雨のメカニズムが異なるように思う。そして図の例は時期 (7 月 8 日) から見ても降り工合から見ても暖かい雨のように思われるが、当時の秋田の高層観測記録中の温度の観測が上空の方が欠けているのと飛行機やレーダーで直接見たわけではないのとで、断言はできない。

Reference

1. 大内浩: 雨滴の粒径分布について (I), Jour. Met. Soc. Japan, Ser. II, **35**, 3, 46.