

豪雨の時間集中度に基づく確率1時間雨量の推定法

A method for estimating the probable 1-hr rainfall based on the time concentration of a heavy rainfall

松田誠祐*・George D. Uligan**・大年邦雄***

By Seisuke MATSUDA, George D. ULIGAN and Kunio OHTOSHI

A method for estimating the probable 1-hr rainfall based on the time concentration of a heavy rainfall is proposed. The method utilized the Slade type III normal transformation approach, whereby estimates were derived from the frequency analysis of the time concentration of heavy rainfall. By knowing how concentrated the heavy rainfall is, within the range of possible estimates, it would be possible to make a better decision on how much 1-hr rainfall should be used in designing hydraulic structures. Although this work focused on 1-hr rainfall, it presents a potential procedure which can be used for a range of desired rainfall durations.

Keywords: local heavy rainfall, frequency analysis, design rainfall, probability of exceedance, time concentration

1. はじめに

ダムあるいは溜池の余水吐設計、都市の排水計画等における計画規模を定める際には計画降雨が検討される。計画降雨は、事業の重要性和経済性を考慮して、その確率規模が決定されるのが通常である。また、計画降雨は、確率降雨強度を求めることによって決定されることが多く、これには、1) 地域の実測降雨に基づき、各時間の確率降雨強度を求める方法¹⁾、2) 長尾²⁾、江藤・室田³⁾、端野⁴⁾等の理論的方法、の2つの方法がある。前者は、やり方を誤らなければ実用的で簡便な方法であり、地域ごとに降雨資料を整理・解析することによって、開発計画等に実用されているが、過大な値を推定することも多い。たとえば、1時間雨量の1/50~1/100 超過確率推定値が、200mm 程度に推定されている場合もあり、これらに基づく計画が経済的に合理的であるかどうかは問題を残すところである。後者は複雑であり、実用性には若干の問題がある。著者らは、これまでの研究^{5), 6)}で豪雨の集中度を定義しているが、本研究ではその時間集中度特性を用いて、簡便でしかも実用性の高い確率1時間雨量の推定法を示した。また、従来曖昧に用いられている集中豪雨の時間集中度を確率的に評価した。

* 正会員 農博 高知大学教授 農学部生産環境工学科

** 学生 愛媛大学大学院連合農学研究科

*** 正会員 工博 高知大学助教授 農学部生産環境工学科

(〒783 高知県南国市物部乙200)

2. 集中豪雨について

集中豪雨という用語は報道用語であり、簡便で一見分かりやすいようであるが、実は厳密に定義しようとすると、なかなか旨いかないう語である。それは集中豪雨という用語が複合語であることに起因している。

「豪雨」については種々の定義がなされているが、二宮⁷⁾は、「年雨量の10%の雨が1日に降ると災害の発生がみられるといわれており、これをもって大雨（または豪雨）の定義とすることもあります。……南西日本では日雨量200mm、北東日本では100mm以上を大雨とか豪雨と呼んで差しかえないでしょう。いずれにしても、この数字はきわめて便宜的かつ日常的、感覚的なもので、ほぼこの程度といった一応の目安として理解すべきものです。」と述べている。いずれにしても、豪雨については、多少曖昧なところはあっても、一応の定義があり、著者らも「年雨量の10%の雨が24時間に降る」を豪雨の定義として用いることにしている。

一方、「集中」については、二通りの定義が必要である。一つは時間的なもので、短時間に強雨が集中して降ることである。もう一つは空間的なもので、何処かに集中して降ることに対応する。この二つの「集中」を同時に表すことはできない。すなわち、集中豪雨という用語は、三つの概念を含む複合語である。

次に、集中の程度を定量的に表す方法があれば、集中度は幾らであったかを比較できて好都合であり、著者らは次のように定義⁸⁾している。

すなわち、24時間を豪雨現象の評価時間とし、時間集中度Cを次式で表す。

$$C = \text{LOG}_{10}(r_1 / r_{24}) / \text{LOG}_{10}(24) \quad (1)$$

ここで、 $r_1 = R_1 / 1$ 、 $r_{24} = R_{24} / 24$ 、 R_1 は最大1時間雨量、 R_{24} は24時間雨量。

この定義によると、時間集中度Cは、必ず0～1の範囲になるという特性を持つ。24時間の間中、一定の強度の雨が降るとき、時間集中度は0となり、一方、全ての雨が1時間に降ってしまう降り方なら、時間集中度は1となる。空間の集中度⁹⁾も同様な取り扱いで定義されるが、ここでは省略する。

図-1は、豪雨の時間集中度の定義を模式的に示したもので、(a)は時間集中度1の降雨、(b)は普通に見られる降り方、(c)は集中度0の降雨を例示している。

わが国の1時間雨量の最大値は、昭和57年7月豪雨^{8), 9)}において、長崎県長与町で観測された $R_1 = 187\text{mm}$ ($R_{24} = 541\text{mm}$)であると言われている。この値は気象官署のものではないので、精度的には多少問題があるかも知れないが、同じ長崎県の大瀬戸町甲物分校で $R_1 = 177\text{mm}$ ($R_{24} = 424\text{mm}$)、外海町では 154mm と 132mm が連続して観測 ($R_{24} = 459\text{mm}$) されているので、必ずしも過大とは言えない。この豪雨の時間集中度は、著者らの定義に従えば、長与町で0.666、甲物分校では0.725となり、甲物分校で観測された豪雨の方が集中度は大きいと評価される。また、豪雨でない雨の場合には、時間集中度1となるものがあるが、豪雨でなければ集中度を議論しても工学的には意味がない。集中度は、災害が起こる程度の豪雨に対して重要な意味を持つ概念である。

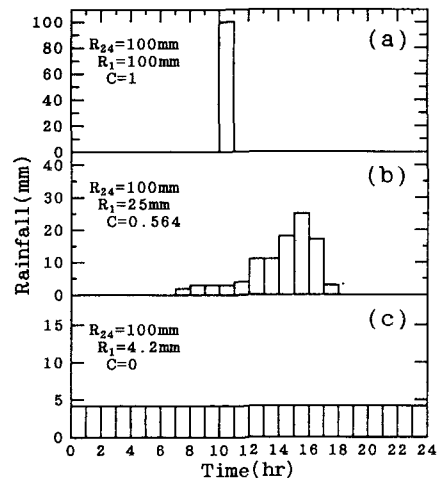


図-1 代表的な時間集中度を示す雨の降り方を表したハイトグラフ

3. 時間集中度の分布特性

降雨の時間集中度の分布特性を見るため、気象官署 (193ヶ所、～1982)、四国¹⁰⁾ (13ヶ所、～1982) およびアメダス雨量資料¹¹⁾ (137ヶ所、1983～1992) を用い、各測点の年最大24時間雨量 R_{24} を取り出し、この R_{24} とその24時間に含まれる最大1時間雨量 R_1 を基礎資料とした。気象庁の雨量資料は、気象官署のものについて、年最大1および24時間雨量が年報¹²⁾として刊行されている。しかし、年報の雨量については、

いつも1時間雨量が24時間雨量に含まれているわけではないので、ここでは用いなかった。ただし、おおむね使用可能であろう。

図-2は、時間集中度 C と R_{24} の関係を示したもので、(1)式の性格が現れている。すなわち、(1)式を変形すると(2)式となり、時間集中度 C は $\text{LOG}_{10}(R_{24})$ と直線の関係にあり、勾配は $-1/\text{LOG}_{10}(24)$ である。

$$C = \frac{1}{\text{LOG}_{10}(24)} \text{LOG}_{10}(R_1) - \frac{1}{\text{LOG}_{10}(24)} \text{LOG}_{10}(R_{24}/24) \quad (2)$$

図-2で注目すべきことは、 R_{24} が100mmを超

す付近から、 C の分布に1より小さな上限が見られることである。 R_1 、すなわち、わが国の1時間雨量は、先に述べたように、最大187mmであり、気象官署の測点における最大1時間雨量は150mm¹³⁾とされているので、同図の点群は、 R_{24} が150mm程度以上では1から離れている。時間集中度 C が[0, 1]の範囲に均等に分布しているのは、せいぜい R_{24} が100mm程度以下である。このことは、1時間雨量の確率値を推定する場合に注意が必要であり、この注意を怠れば、過大に推定する危険があることを示唆している。

4. 時間集中度の頻度分布と正規変換

時間集中度 C の頻度分布を見るため、 C が24時間雨量 R_{24} に対して均質な分布になっていないので、 R_{24} を組分けして検討する。

図-3は、100、200、300および400mmの R_{24} ($\pm 5\%$ の範囲を許容) に対する C の頻度分布を示している。資料数はそれぞれ706、394、132、62であり、頻度分布の階級は、統計学で常用されている次式¹⁴⁾によって求めた。

$$k = 5 \cdot \text{LOG}_{10}(N) \quad (3)$$

ここで、 k は階級数、 N は資料数。

C は、0~1の範囲に分布することは分かっているが、わが国の降雨では、 $R_{24}=100\text{mm}$ の場合には1に近い値も見られるものの、 R_{24} が大きくなるに従って、その分布範囲、平均値は小さくなっている。

そこで、 C をSladeのⅢ型¹⁾、すなわち、上下限値をもつ変数の変換式によって正規変換する。

$$\xi = \alpha \cdot \text{LOG}_{10}\left(\frac{C}{C_0}\right) \cdot \left(\frac{1-C_0}{1-C}\right) \quad (4)$$

ここで、 ξ は変数、 α と C_0 は定数。

図-3の資料について ξ の累積分布を描くと正規確率紙上では直線となり、 ξ の分布は正規分布に近いことが予想されるので、以下では ξ の平均 $\bar{\xi} = 0$ とにおいて、 C_0 を次式から定めた。

$$\text{LOG}_{10}(C_0') = -\left(\sum_{i=1}^N \text{LOG}_{10}\left(\frac{C_i}{1-C_i}\right)\right) / N \quad (5)$$

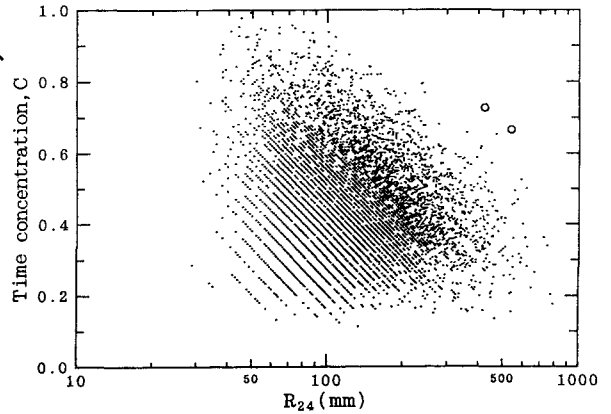


図-2 時間集中度 C と $\text{log}_{10}(R_{24})$ の関係(白丸は長与町の $C=.666$ 、甲物分校の $C=.725$)

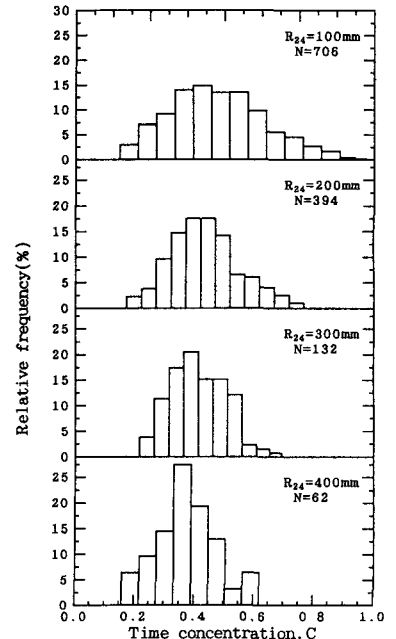


図-3 $R_{24}=100\sim 400\text{mm}$ の豪雨に対する時間集中度 C の頻度分布

$$C_0 = 1 / (C_0' + 1) \quad (6)$$

また、 α は ξ の累積分布が正規分布に近似するように最小自乗法によって定めた。

図-4は、変換値 ξ の累積分布を示したものである。 R_{24} が200、300、400mmの場合には大体正規分布している。また、 R_{24} が400mmより大きい場合にも、資料数は少ないが、大体正規分布している。しかし、 R_{24} が100mm程度より小さい場合には正規分布せず、上に凸の分布となっている。すなわち、確率推定値が小さく推定される。これを避けるため、 C を2乗したものにSladeのⅢ型変換(7)式を適用すると、かなり改善されることが分かった(図-5)。

$$\xi = \beta \cdot \text{LOG}_{10} \left(\frac{C^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{C_M^2 - C_0^2}{C_M^2 - C^2} \right) \quad (7)$$

ここで、 β 、 C_0^2 は定数。 C_M^2 は R_{24} に応じて変わる C^2 の上限値($C_M^2 \leq 1$)。

図-6は、(7)式を用いて定めた定数 β と C_0^2 の値を R_{24} に対してプロットしたものであり、 R_{24} の大きいところでは、データ数が少ないのでばらついている。特に、 β のばらつきがおおきくなっている。しかし、両者は何れも近似的に片対数紙上で直線的に分布していることができ、次式で表される。

$$\beta = 0.70 \cdot \text{LOG}_{10}(R_{24}) + 0.51 \pm \Delta\beta \quad (8)$$

$$C_0^2 = -0.14 \cdot \text{LOG}_{10}(R_{24}) + 0.50 \pm \Delta C_0^2 \quad (9)$$

ここで、 $\pm \Delta\alpha$ 、 $\pm \Delta C_0^2$ は誤差

5. 時間集中度の確率分布

(7)式による時間集中度 C の2乗の変数変換が、(8)式、(9)式を考慮すると24時間雨量 R_{24} のみを用いて可能になり、さらに、近似的に正規分布することが分かったので、以下では時間集中度 C の R_{24} ごとの確率値の推定を試みる。

図-7の線群は、 $R_{24}=60 \sim 640\text{mm}$ の範囲で計算した C の $1/2 \sim 1/1000$ 超過確率値である。ここでは、この範囲の計算値についてのみ示した。 R_{24} の小さい方への外挿はある程度可能であると思われるが、大きい方への外挿は、資料が少ないので、慎重に検討する必要がある。図-7において、 $1/100$ あるいは $1/1000$ 超過確率の線より上に分布する点かなりの数

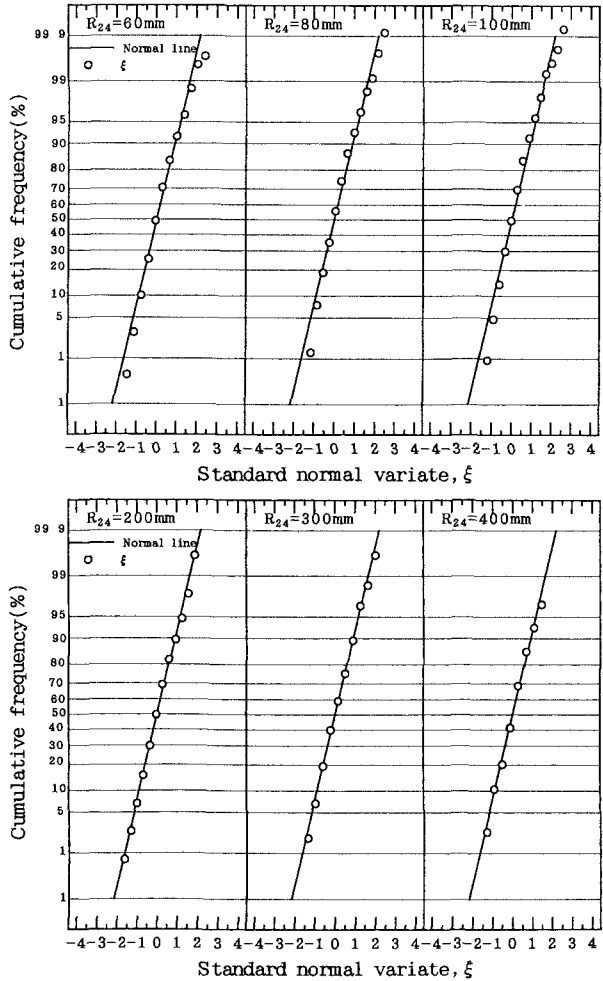


図-4 (4)式を用いて変換した時間集中度 C の正規変換変数 ξ の累積分布(白丸)。実線は正規分布の累積分布

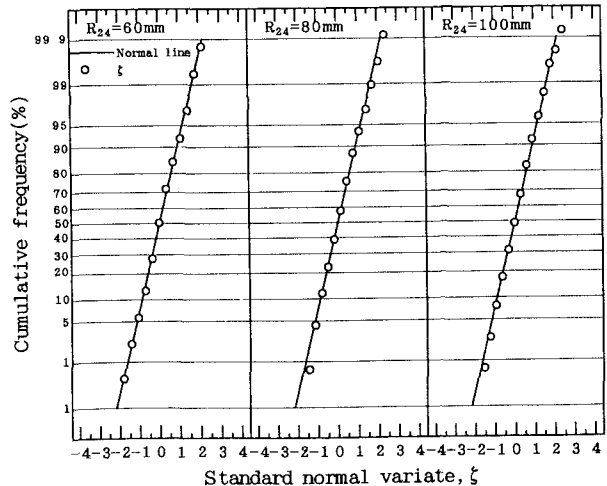


図-5 (7)式を用いて変換した時間集中度 C の正規変換変数 ξ の累積分布(白丸)。実線は正規分布の累積分布

が、(8)式、(9)、(10)式を考慮すると24時間雨量 R_{24} のみを用いて可能になり、さらに、近似的に正規分布することが分かったので、以下では時間集中度 C の R_{24} ごとの確率値の推定を試みる。

図-8の線群は、 $R_{24}=60\sim 640\text{mm}$ の範囲で計算した C の $1/2\sim 1/1000$ 超過確率値である。 R_{24} の小さい方への外挿はある程度可能であると思われるが、大きい方への外挿は、資料が少ないので、慎重に検討する必要がある。図-8において、 $1/100$ あるいは $1/1000$ 超過確率の線より上に分布する点かかなりの数見られるが、この場合の超過確率は、単に、24時間雨量 R_{24} がある値をとったとき、その雨の時間集中度 C の起こり得る超過確率であり、平均的に100回以上に1回あるいは1000回以上に1回の起こりやすさを表しており、確率年ではない。図-8の線群は、 $R_{24}=300\text{mm}$ の点で超過確率の線群は下に折れ曲がっており、1時間雨量の上限をいくらに仮定するかによって、 C の確率評価が変わることを示している。

図-8を用いて、集中豪雨の集中度のレベルを確率評価することが可能である。(7)、(8)、(9)および(10)式を用いて、長崎県長与町の集中度 $C=0.666$ の超過確率を計算すると、約 $1/1584$ であり、長崎県大瀬戸町甲物分校のそれは $1/1961$ であると推定される。したがって、確率レベルは後者の方が高いと評価される。しかし、推定誤差を考慮れば、超過確率は約 $1/1000$ 程度であり、ほぼ同じであると思われる。

6. 1時間雨量の超過確率

始めに R_{24} を選び、その R_{24} に対する C の超過確率の値を(7)～(10)式を用いて計算し、それを(2)式に代入して最大1時間雨量 R_1 の超過確率値が推定できる。図-9の線群は、 R_{24} に対する R_1 の超過確率値を推定した結果である。また、先に述べた昭和57年7月豪雨の、長崎県長与町の $R_{24}=541\text{mm}$ と $R_1=187\text{mm}$ および長崎県大瀬戸町甲物分校の $R_{24}=424\text{mm}$ と $R_1=177\text{mm}$ も○記号で示した。

1時間雨量は、たとえば24時間雨量あるいは

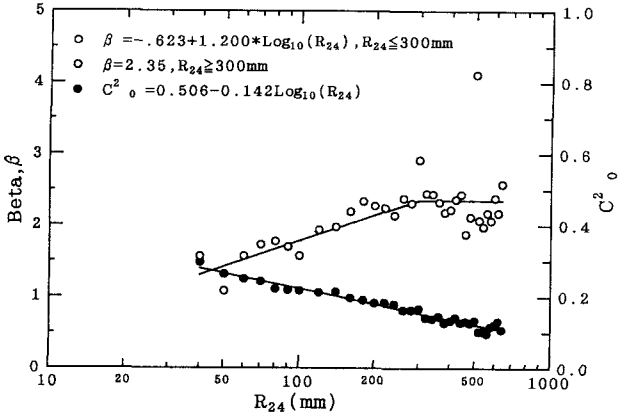


図-6 (7)式の定数 β および C^2_0 と $\log_{10}(R_{24})$ の関係

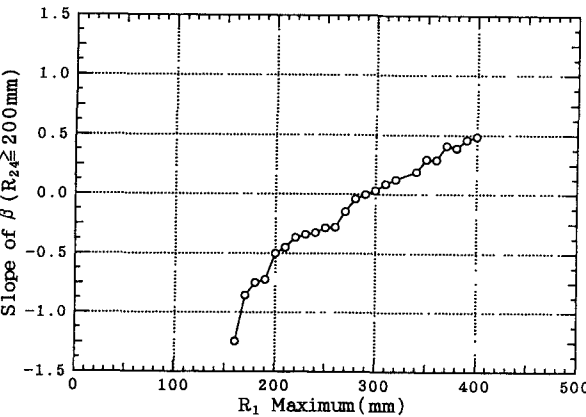


図-7 定数 β の勾配 ($R_{24} \geq 300\text{mm}$ 、図-6参照) と仮想上限1時間雨量の関係

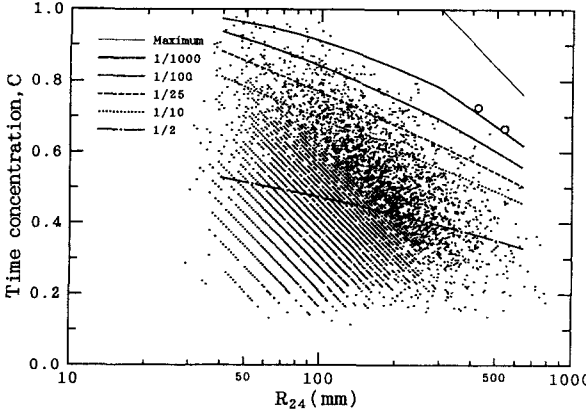


図-8 1時間雨量の上限値を $R_1=300\text{mm}$ に設定して求めた時間集中度 C の超過確率値の推定曲線 (白丸は長与町の $C=.666$ 、甲物分校の $C=.725$)

24時間内の適当な時間雨量と組で考えた方がよく、ここでは時間集中度によって、24時間雨量と組になっている。したがって、1時間雨量の超過確率は、24時間雨量によって異なった値となっている。

ここで用いた雨量資料は、四国の一部の資料を除けば気象庁の資料が中心であり、最近各地で発生している集中豪雨、7505号台風あるいは昭和57年7月豪雨等の、気象庁以外の資料を加えれば、 R_{24} の大きい範囲の分布点が増えると期待され、今後資料を加えたいと考えている。

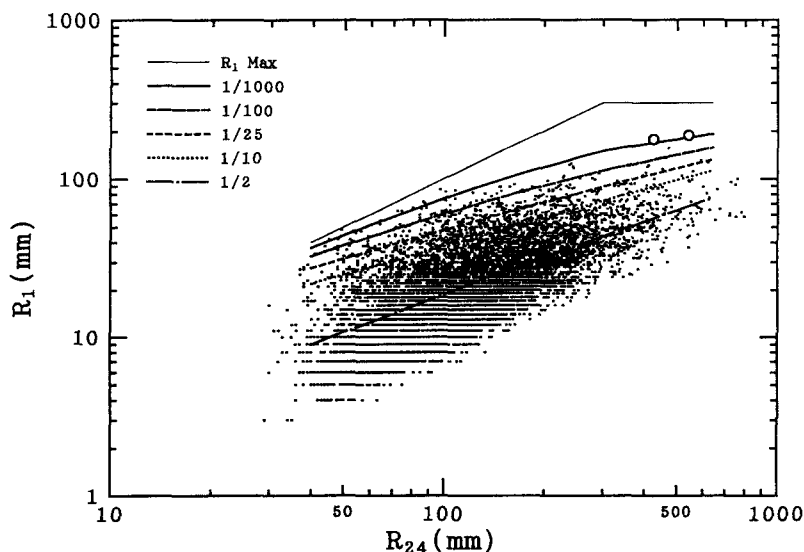


図-9 24時間雨量 R_{24} に対する1時間雨量 R_1 の超過確率推定値(白丸は長与町の $R_1=187\text{mm}$ 、甲物分校の $R_1=177\text{mm}$)

7. おわりに

本研究では、豪雨の時間集中度に基づく確率1時間雨量の推定方法を提案し、簡便ではあるが極めて実用性の高いことを示した。また、この結果を用いて集中豪雨の時間集中度の確率レベルを評価した。また、確率1時間雨量が200mmを超すような推定は明らかに大きすぎると思われる。1時間雨量だけ取り出してその確率値を推定する方法は、誤った結果を導くことになる。資料を利用して頂いた気象庁に謝意を表する。

8. 参考文献

- 1) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学、森北出版、P68、1945.
- 2) 長尾正志：確率雨量配分率曲線の理論的推定、土木学会論文集、第243号、PP.33~46、1975.
- 3) 江藤剛治・室田 明：一雨降雨の一確率模型、土木学会論文集II、第345号、PP.101~109、1984.
- 4) 端野道夫：Marked point processに従う水文二変量の同時確率、第28回水理講演会論文集、pp.391~396、1980.
- 5) 松田誠祐・角屋 陸：長時間降雨強度曲線の一表現法、農業土木学会論文集、PP.39~46、1983.
- 6) 松田誠祐：DA曲線を用いた流域平均降雨強度の推定、農業土木学会論文集、PP.95~100、1989.
- 7) 二宮浩三：集中豪雨の話、出光書店、PP.7~10、1975.
- 8) 福岡管区気象台：昭和57年7月豪雨調査報告、気象庁技術報告105号、1984.
- 9) 坂上 務・元田雄四郎・早川誠而・林 静夫・中島暢太郎・後町幸雄・小島隆義：豪雨の集中度に関する調査研究、文部省科学研究費No.57020201、昭和57年7月豪雨災害に関する調査研究(長崎を中心とした豪雨災害)、自然災害特別研究突発災害研究成果、1983.
- 10) 高松地方気象台：四国雨量月報、~1982.
- 11) 気象庁：アメダスデータ、1983~1992.
- 12) 気象庁：気象庁年報、全国気象表第1表、pp.1~52、第6表、pp.132~133、1994.
- 13) 東京天文台：理科年表、丸善株式会社、PP.218~219、1994.
- 14) Philip B. Bedient・Way C. Huber: Hydrology and Floodplain Analysis, Addison Wesley, p.141, 1988.