

都市中小河川流域における雨量観測所の密度が面積雨量精度に与える影響  
Effect of Raingauge Network Density on the Precision of Areal Rainfall  
in an Urbanized Small River Basin

福岡捷二\*・谷岡康\*\*・高本正彦\*\*\*

By Shoji FUKUOKA, Yasushi TANIOKA, and Masahiko TAKAMOTO

The study is based on the precipitation data measured by densely distributed raingauges. First, a small-scale, short-term thunderstorm is analyzed by Isohyetal, Thiessen and weighted distance method. Then an index of raingauge network density in an urbanized small river basin is proposed and the degree of areal-rainfall estimation errors in each method is made clear.

keyword : areal-rainfall, isohyetal method, thiessen method, raingauge density, urbanized small river basin.

1. はじめに

近年、都市域の中小河川においては、その急激な市街化により、雷雨等の局地的、短時間の集中豪雨による洪水被害が多発し、莫大な被害をもたらしている。このため、狭小な流域規模、短時間の面積降雨の把え方とその信頼度（誤差）の考え方の実用化が、流出解析・洪水予測、あるいは河川管理等の分野で必要となっている。ランダムに配置された点である地上雨量観測所の値から面積雨量を算定する場合に、一般的には算術平均法、ティーセン法、等雨量線法等<sup>1)</sup>が用いられている。流域面積と雨量観測所の密度による面積雨量の誤差の関係は、橋本<sup>2)</sup>、吉野<sup>3)</sup>らにより検討されているが、都市域の流域規模に比べ大きい流域を対象としており、中小河川流域規模での面積雨量の信頼度や誤差の分布の関係は明らかにされていない。東京都においては、現在まで地上雨量計の整備が鋭意進められており、密度の高い雨量データーをテレメーターにより集積することが可能となってきており、今後更に増設する傾向にある。このため地上雨量データーを用いた、オンラインによる流出解析・洪水予測の精度向上の可能性は大きい。

本研究では、都市域の中小河川流域で、密に配置する雨量観測所のデーターをもとに、流域平均雨量の計算方法による誤差を検討し、観測所密度と面積雨量算定誤差の関係を明らかにすることを目的としている。

---

\* 正会員 工博、P h . D . 東京工業大学助教授 工学部土木工学科  
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

\*\* 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株)水工部

\*\*\* 正会員 東京都建設局河川部計画課長

## 2. 解析方法

### 2. 1 対象流域

一級河川荒川水系神田川は、東京都心部を東流し隅田川に注ぎ、区部を流れる中小河川では最大の流域面積（105km<sup>2</sup>）をもっている<sup>4)</sup>。流域の大部分は市街化が進み、地形は平坦である。

本研究では、神田川及び支川善福寺川、妙正寺川より図-2に示す小流域を抽出し、表-1に示す2.2km<sup>2</sup>~19.1km<sup>2</sup>の範囲で、13パターンの流域を設定した。

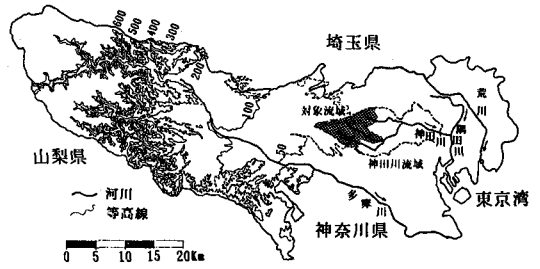


図-1 対象流域位置図

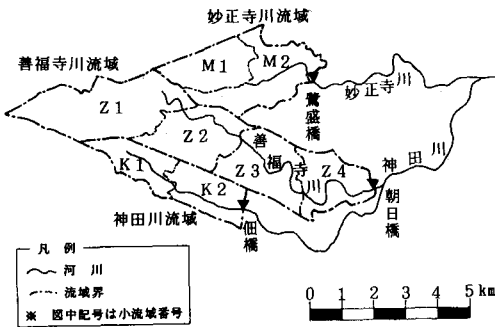


図-2 対象流域図

表-1 対象流域面積

対象流域	小流域	組み合わせ流域	
神田川 : 佃橋上流	(K1)2.2km <sup>2</sup>	(K1+K2)	
	(K2)2.4km <sup>2</sup>	4.6km <sup>2</sup>	
善福寺川 : 朝日橋上流	(Z1)7.4km <sup>2</sup>	(Z1+Z2)	(Z1+Z2 +Z3+Z4)
	(Z2)4.2km <sup>2</sup>	11.6km <sup>2</sup>	
	(Z3)4.4km <sup>2</sup>	(Z3+Z4)	
	(Z4)3.1km <sup>2</sup>	7.5km <sup>2</sup>	19.1km <sup>2</sup>
妙正寺川 : 鷺盛橋上流域	(M1)3.2km <sup>2</sup>	(M1+M2)	
	(M2)4.7km <sup>2</sup>	7.9km <sup>2</sup>	

注) ( )内記号は図-1中の小流域番号

### 2. 2 対象降雨

面積雨量の算定精度に最も影響が現われる局所的・短時間集中の降雨として、平成元年8月10日の雷雨を選定した。当降雨により神田川・善福寺川合流点付近を中心に、浸水被害が発生した。

10分毎の雨量観測値をもとにして図-3に10分毎雨量分布の経時変化を示す。雷雨は東京都東部に発生し、次に神田川流域中央部に集中、その後西部に発生した。神田川流域には、複数の雨量の山が40~50分のサイクルで発生・消長を繰り返して起伏の激しい複雑な雨量分布形態を呈した。図-4に示す様に、最も集中した成田東観測所で25mm/10分（降雨強度150mm/hr）を記録し、局所的・短期的な強度の大きい降雨であった。

都市域の洪水現象は、その流域の市街化、下水道施設の整備状況から極めて短時間の速い流出が発生するため、これを再現するためには短時間の降雨を

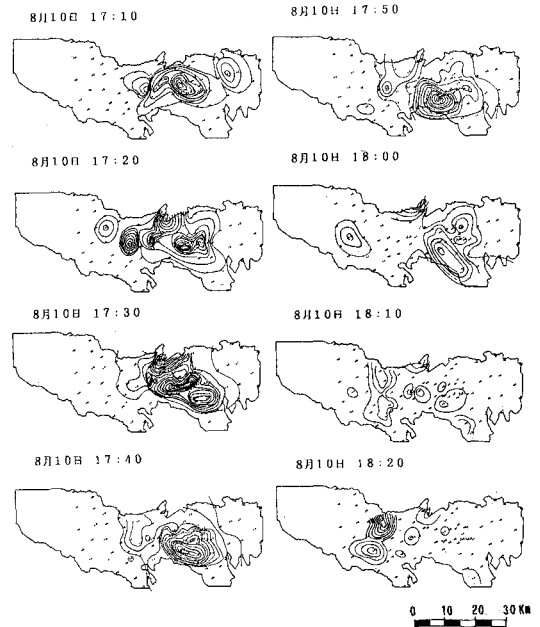


図-3 雨量分布の経時変化

捉える必要がある。又、雷雨の雨量波形をみると、10分毎の雨量の変化は大きく20分あるいは30分毎の雨量値では洪水現象を正確に表現できないと思われる。そこで本研究では10分雨量を対象とする。

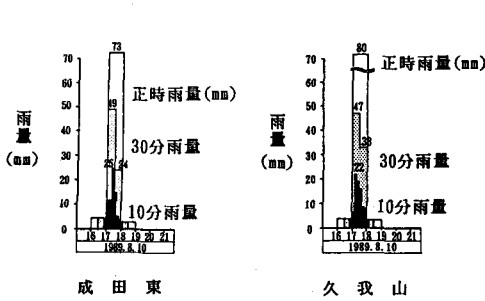


図-4 降雨観測値

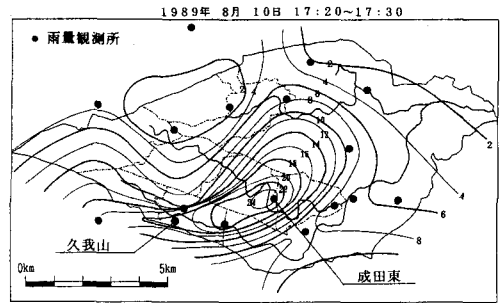


図-5 雨量分布図

### 2.3 対象雨量観測所

雨量観測所は、図-6の如く配置されており、平均的な間隔は2~3kmである。ティーセン法による領域分割をした場合の、観測所の支配面積は3~15km<sup>2</sup>で平均7km<sup>2</sup>程度である。

### 2.4 面積雨量算定方法

都市の中小河川流域では、流域内に雨量観測所がない場合や1~2ヵ所の場合が多く、算術平均法による計算は適さないと思われる。

そこで、対象とした降雨の10分雨量(16:40~18:40; 13ステップ)をもとに、等雨量線法、ティーセン法、距離重み法を用いて各流域単位(13パターン)毎に流域平均雨量を算定する。

距離重み法は、対象領域を500m間隔のメッシュに分割し、各格子点から観測点までの距離に応じた重みにより観測値を加重平均したものを内挿値として面積雨量を算定する方法を用いた。

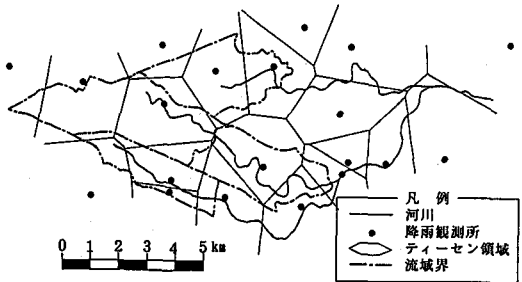


図-6 降雨観測所配置とティーセン分割図

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N W_i R_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $r$  : 格子点雨量(内挿値)  
 $W_i$  : 観測点  $i$  の距離による重み係数  
 $R_i$  : 観測点  $i$  の観測雨量  
 $N$  : 対象観測所数

(1)式の重み係数 $W_i$ は、計算格子点と観測点の距離が近いほど重みの大きくなるように、(2),(3)式の2通りを設定した。内挿計算を行うには格子点からの距離が5km範囲以内のデータを用いた。この理由は、観測所間の10分雨量の相関が5km以上離れると小さくなることによる。

ケース① :  $W_i = \frac{1}{1+L_i^2} \quad \dots\dots (2)$

ケース② :  $W_i = \frac{1}{L_i^2} \quad \dots\dots (3)$

ここに、 $L_i$  : 算定する格子点から観測点  $i$  までの距離 (km)

### 3. 流域平均雨量の誤差

降雨観測所が密に配置され、雨量データがそろっている状態では、時間的な雨域の移動、消長や面的な広がりを考慮できる等雨量線法による面積雨量が最も精度が高く信頼出来ると思われる。そこで等雨量線法を真の面積雨量とし、ティーセン法、距離重み法による計算結果を評価するものとする。各流域単位（表-1, 13パターン）に対し、10分単位、16:40~18:40の13ステップの計算を行ない、169の平均雨量について等雨量線法との比較を行なった。（図-7）

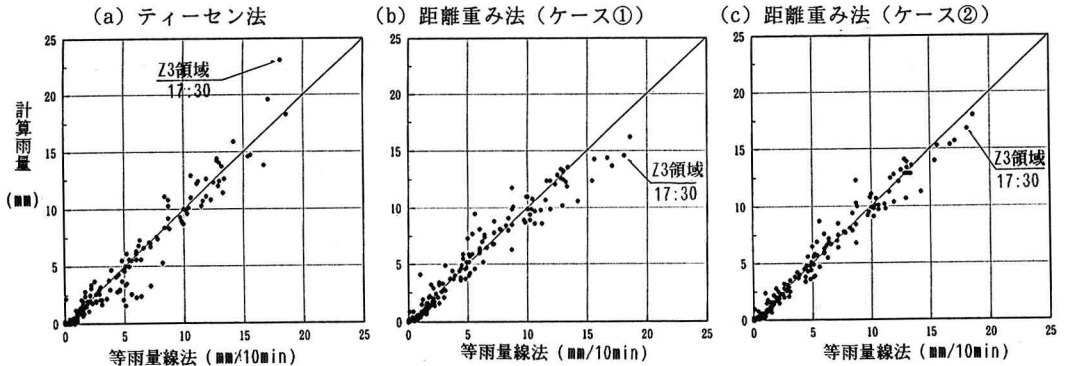


図-7 等雨量線法との比較

表-2 等雨量線法との比較

手法	相関係数 r	標準偏差 (mm/10min)	最大誤差 (mm/10min)
ティーセン法	0.974	1.13	5.03
距離重み法①	0.975	1.06	3.93
距離重み法②	0.987	0.78	3.57

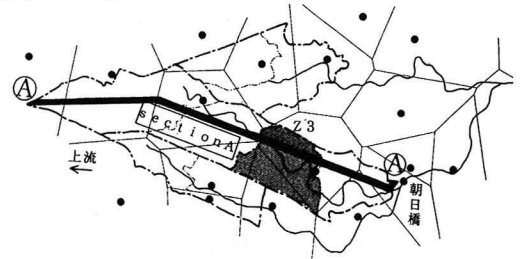


図-8 雨量断面作成位置

ティーセン法では、雨量が小さい範囲では過小に算定し、大きい雨量ではバラツキが見られた。距離重み法（ケース①）では、雨量が小さい場合には、若干大きく、雨量が大きい範囲では、小さめに算定する傾向が現れ、これは雨量の面的な分布を平滑化している影響と思われる。距離重み法（ケース②）では重みを格子点に近い観測点に関してケース① ( $W = 1 / (1 + L^2)$ ) より大きくなるように与えている ( $W = 1 / L^2$ ) ため、より観測値に近い値となり、等雨量線法の結果に近づくことが分かる。

中小河川の流域規模（2~10km<sup>2</sup>程度）では、密に配置する雨量観測所データにより、ティーセン法距離重み法とも10分雨量で標準偏差1mm内外で計算出来ることがわかった。（表-2）

図-8に示す断面位置での、各計算手法による計算雨量分布を作成した。（図-9）

最も偏差の大きかったZ3流域（図-8中ハッチ部分）での計算雨量を図-10に示す。ピーク時

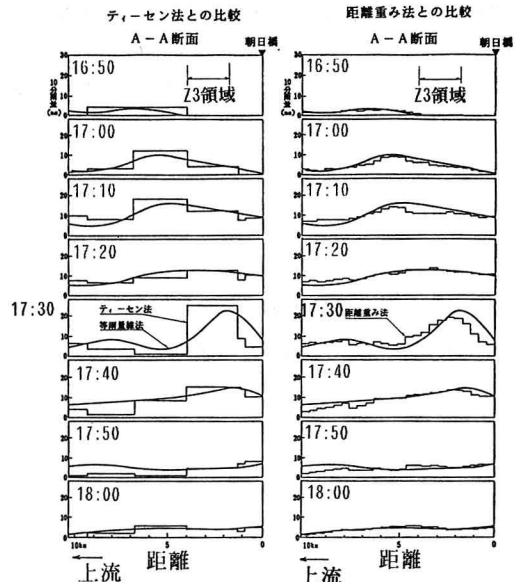


図-9 計算雨量断面図

(17:30)でティーセン法では5mmの偏差がでていますが、図-9のZ3流域範囲で見ると、この流域を支配する1観測所の大きい雨量値が影響していることがわかる。ティーセン法による分割領域の面積と同等あるいはそれより小さい流域では、降雨分布の山や谷の勾配が急な場合に、その流域との位置関係で偏差が大きくなることもある。これに対して距離重み法では、等雨量線法とほぼ同様な分布形となり、小流域でも流域平均雨量を適切に計算できることがわかる。

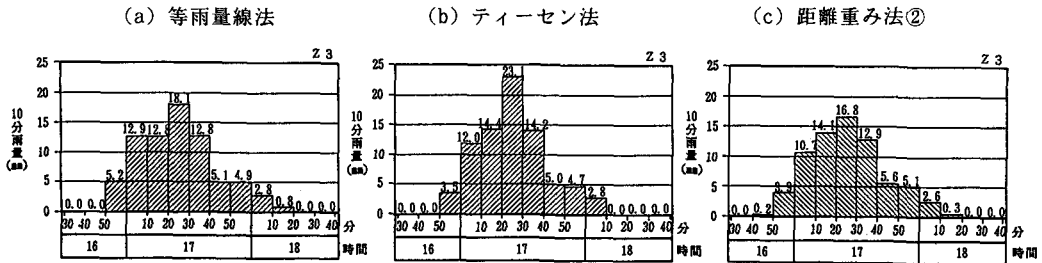


図-10 流域平均雨量(Z3)算定結果

#### 4. 雨量観測所密度と誤差の関係

##### 4.1 間引き法

雨量観測所の密度が粗くなった場合に、面積雨量算定結果にどのように影響するかを検討する。検討は流域内にある観測所5ヶ所のうち1ヶ所の観測所を間引いて流域平均雨量を算定した。間引きの対象は、その影響が最も大きく出ると考えられる各流域の中央付近に位置する観測所で、図-11に示す5ヶ所とし、(a)~(d)のそれぞれ1観測所がない場合と、(a)と(e)は接近している為、(a)、(e)の2ヶ所を間引いた場合の5ケースについて計算を行なった。計算は、ティーセン法、距離重み法②を用いて各ケースにつき流域単位毎に10分流域平均雨量を算定した。

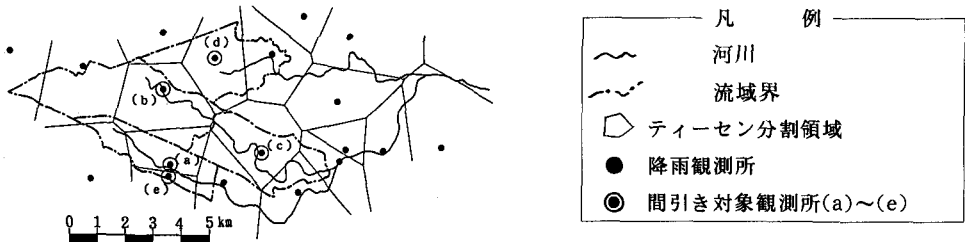


図-11 間引き対象観測所

##### 4.2 雨量観測所密度の指標

中小河川流域規模においては、流域内に1~2ヶ所の降雨観測所しか含まれておらず、大規模な流域のように、流域内の観測所数で流域面積を割ることで平均的な観測所の支配面積を算定することが出来ない。ここでは、各流域単位に対する雨量観測所の密度の指標として、ティーセン法により平均雨量を算定する考え方と同様に、ティーセン法による支配面積に、その観測所が流域内で占める面積による重みをかけて荷重平均し、流域の平均的な観測所の支配面積として表現する。

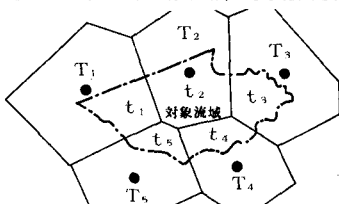


図-11 ティーセン支配面積

$$A_T = \sum_{i=1}^N c_i \cdot T_i, \quad c_i = \frac{t_i}{A} \quad \dots (6)$$

ここに、 $A_T$ : 流域に關する観測所の平均的な支配面積 (km<sup>2</sup>)

$c_i$ : ティーセン係数 ( $\sum_{i=1}^N c_i = 1.0$ )

$t_i$ :  $i$  観測所の支配域で対象流域内の面積 (km<sup>2</sup>)

$A$ : 流域面積 (km<sup>2</sup>) ( $A = \sum_{i=1}^N t_i$ )

#### 4. 3 観測所密度と誤差の関係

前述した5ケースの間引きを行なった場合と間引きを行わない場合も含めたティーセン法による流域平均雨量算定結果と、それぞれの支配面積  $A_T$  との関係を図-13~14に示す。ここで標準偏差は各流域単位での13ステップの10分雨量の計算値と間引きを行わない場合での等雨量線法との偏差の平均を示す。又、最大偏差は13ステップ中の偏差の最大値を意味する。図中の包絡線付近のデータは、間引いた観測所が降雨分布の山や谷の中心であったり、流域内での雨量勾配が急であった場合であり、局地性降雨の検知が正確に行われなかったことで、面積雨量の誤差が大きくなっている。本検討の範囲内で、標準偏差は支配面積  $A_T=8\text{km}^2$  以上では、 $3\text{mm}$  以内におさまった。これは、支配面積がある程度大きくなると小流域で平均化される雨量への影響が小さくなるためと思われる。面積雨量の必要精度はその使用目的により異なるが、支配面積  $4\text{km}^2$  程度の観測所密度をもてば、局所的な降雨に対しても標準偏差  $1\text{mm}$ 、最大偏差  $3\text{mm}$  程度の面積雨量の精度が期待できると考えられる。

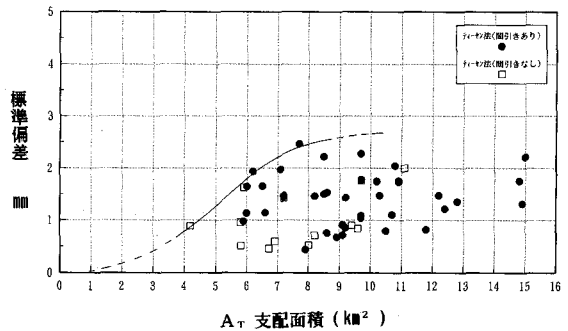


図-13 支配面積と標準偏差

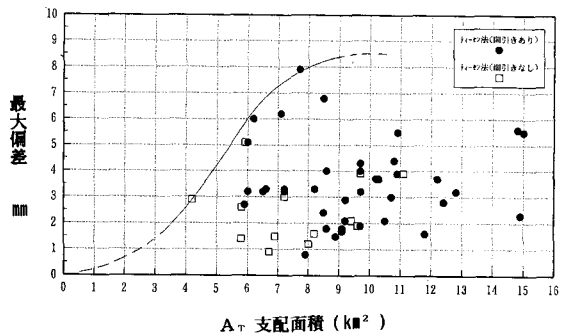


図-14 支配面積と最大偏差

#### 5. まとめ

都市中小河川流域で短時間・局所的な降雨の面積雨量を算定する場合、観測所が密に配置されていれば、標準偏差  $1\text{mm}$  程度で流域平均雨量が算定できることがわかった。又、中小流域毎の観測所密度の指標を提案し、その指標と面積雨量誤差の関係を明らかにした。今後は他の雷雨事例や、台風、前線等の比較的降雨分布の平坦な降雨に対して面積雨量の精度を明らかにし、雨量観測所配置計画や洪水解析に反映していくことを課題としている。

#### 参考文献

- 1) 建設省：改訂河川砂防技術基準（案）調査・計画編，山海堂 昭和52年
- 2) 橋本健：標本計画法による面積雨量の精度および信頼度の評価に関する研究，土木研究所報告第141号 1977年9月
- 3) 吉野文雄・水野雅夫・井川貴史：レーダー雨量計から見た降雨の時空間特性に関する調査報告書、土木研究所資料第2604号，昭和63年3月，建設省土木研究所河川部水文研究室
- 4) 東京都建設局河川部：'85東京の中小河川，東京都建設局河川部計画課，昭和60年10月