

都市中小河川流域規模を対象とした 地上雨量計による短時間雨量の変動予測

Forecasting of Short-term Rainfall in Small Urban River Basins
By Using Rain Gauges Located On The Ground

谷岡 康*・福岡捷二**・傅 雲飛*

By Yasushi TANIOKA, Shoji FUKUOKA, Yunfei FU

It is important to forecast short-term rainfall in a small area located in urban small rivers basins. In this paper, through temporal extrapolation of the rainfall's migration and of the rainfall strength's variation, short-term rainfall forecasting is carried out. Point rainfall is predicted for a lead time of 10 to 30 minutes with the model presented herein. In this forecasting process, some prediction is not well achieved, the reason for which is investigated, and means for upgrading the forecasting accuracy is then examined.

Keywords : Short-term Rainfall, Small Urban River Basins
: Forecasting of Rainfall

1. はじめに

都市域の中小河川では、その流域規模の小ささや、下水道施設の整備、流域の地被状況から、極めて速く大きい流出現象を呈しており、近年では毎年の様に浸水被害が発生している。この流出現象は短時間（10分～30分間）の雨量変動に大きく影響されており¹⁾、洪水予測を行うためには、狭小流域規模での短い時間間隔の雨量変動の予測を行うことが不可欠である。降雨の短時間予測に関しては、運動学的手法として、雨域追跡法、移流モデル、相互相関法等の適用が試みられており、1～3時間程度の予測には成果を上げているが、雨域の広域的な移動や変形、消長といった評価にとどまっており、都市中小河川流域規模（10km²オーダー）での短時間雨量（10分～30分雨量）の予測の精度、誤差までは明らかにされていない。本報では、東京都において得られた地上雨量計のデータをもとに、都市中小河川流域規模での短時間雨量の移動や、成長・減衰といった消長の特性を調べるとともに、その特性を考慮した短時間降雨予測を行い、その精度と限界について考察している。本報は、著者らのすすめてきた短時間降雨予測の試み²⁾、³⁾の続報であり、より解析事例を増やし、消長による変動も考慮した予測手法を提案し、地点雨量の短時間予測を行った結果を評価し、考察を加えている。

* 正会員 パシフィックコンサルタンツ（株）水工部（〒163-07 東京都新宿区西新宿2-7-1）

** 正会員 工博、Ph. D. 広島大学教授 工学部 第4類（〒724 広島県東広島市鏡山1-4-1）

2. 検討対象

2.1 対象領域

東京都において10分雨量データの密に得られた図-1に示す23km四方を対象領域とした。雨量観測所は平均的には3~5km間隔程度に配置されている。本報では領域のほぼ中央に位置するNo.11観測所を予測地点とし、予測値と実測値を比較している。

2.2 対象降雨

東京都の中小河川における浸水被害発生時の降雨成因を調べると、雷雨、台風による集中豪雨が大半であり、ほぼ半数は台風による。本研究ではまず雨量の変動や分布状況が比較的ゆるやかと考えられる台風による降雨を対象とすることとした。対象降雨は密にデータが得られ、比較的对象領域に大きな降雨をもたらした、平成3年、平成5年の4つの台風とした。降雨データは、10分毎の10分雨量(1ミリ単位)が得られており、都市中小河川流域の流出と相関の高い¹⁾30分移動平均雨量を解析対象とした。対象とした4降雨はいずれも対象領域内に30~50mm/hrの降雨強度のピークをもつ規模である。

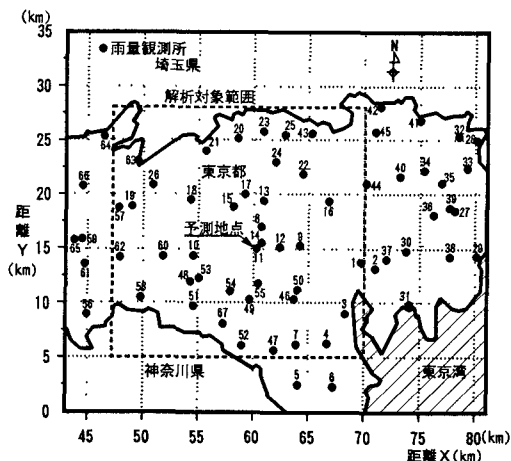


図-1 検討対象領域

3. 短時間雨量の予測方法

3.1 雨域の移動方向の推定

ランダムに配置される雨量計のデータから雨域の移動方向を推定する方法として、各々の観測所を中心とし、その周辺観測所との現時刻までの降雨波形を時間的に移相させて相関をとり、最も相関の高い移相時間を求めその平面分布を作成し、その傾きと方向からその観測所位置の移動ベクトルを求める³⁾ものとした。この方法による移動方向の平面分布及び降雨強度の分布を図-2に示す。雨域の移動方向は空間的に時間的にほぼ一様であり雨量の移動方向を良く現していることがわかる。

図-2 (a) : 平成3年9月19日降雨

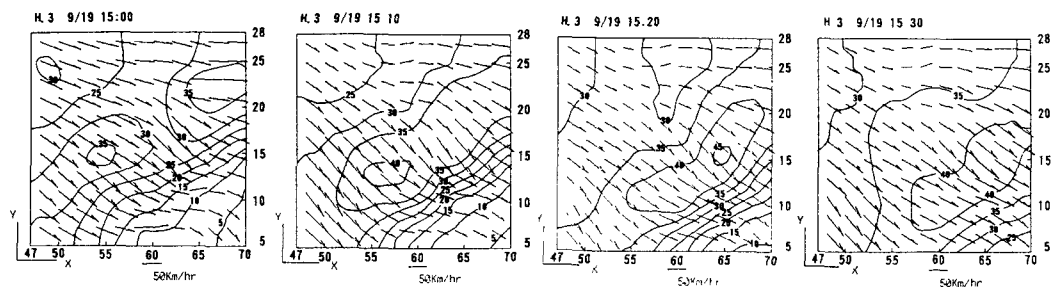


図-2 (b) : 平成5年7月25日降雨

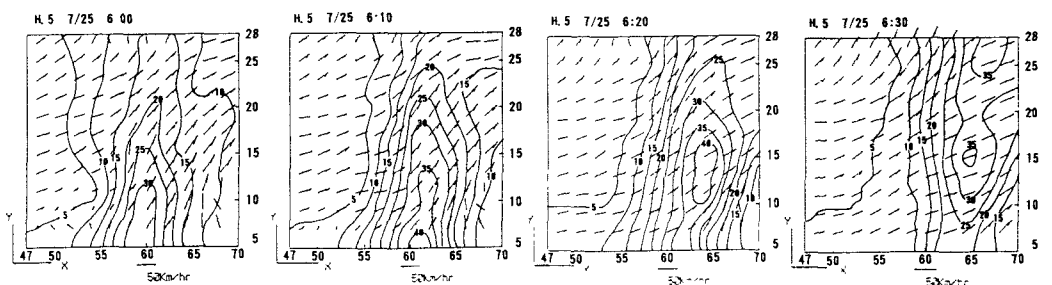


図-2 雨量の移動方向(图中数字は降雨強度(mm/hr))

3.2 雨量の移動速さと消長

3.1に示した方法によると雨域の移動の方向は雨量分布の経時変化とほぼ一致しているが、その速さ自体は認識出来るものより、かなり大きい値となる。これは、雨量データが10分単位と粗く、領域が23km四方と狭いため、この範囲では降雨波形の移相時間は0～30分程度となり10分単位の移相時間から求める速さでは誤差が大きくなることによると考えられる。このことから移動の方向は、3.1の方法によるものとし、速さ自体はこの移動の方向で前時刻の雨量分布を移動したものと、現時刻の観測値による雨量分布との差が最も小

くなる様にトライアルにより求めるものとした。図-3にこの計算による移動速度の変化、図-4にそのときの消長量（雨量の移動分布と雨量観測値の差）を示す。移動や消長はほぼ連続的に変動しているものの、特に図-3、図-4の左の降雨（H3.9.19.A）における変動は激しい。雨域の移動方向における雨量の断面図の経時変化を図-5に示す。これによるとひとつの雨量分布は20km以上のひろがりを持ち、その全容は、領域内に含まれない場合が多いことがわかる。このとき、雨量の空間分布の相関だけでは移動量と消長量の明確な安定した分離が困難となる。この移動の変動が、雨域の来襲（雨量のピークが領域内に入り、出ていく）による影響も考えられ、この継続性を仮定した30分の予測は困難である。

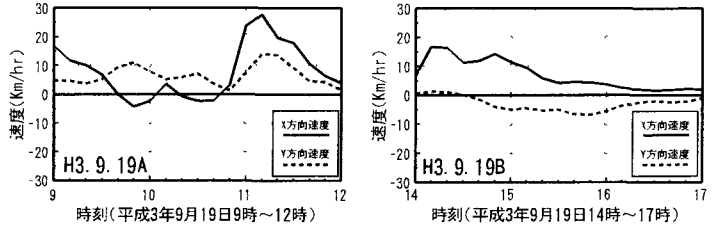


図-3 移動速度の経時変化

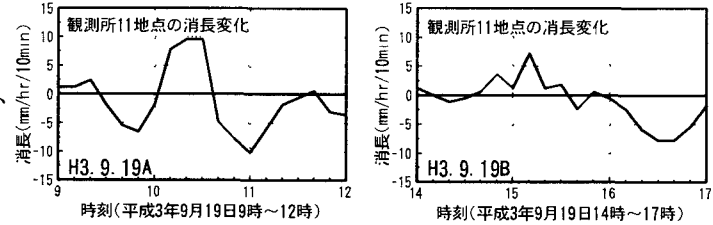


図-4 消長量の経時変化

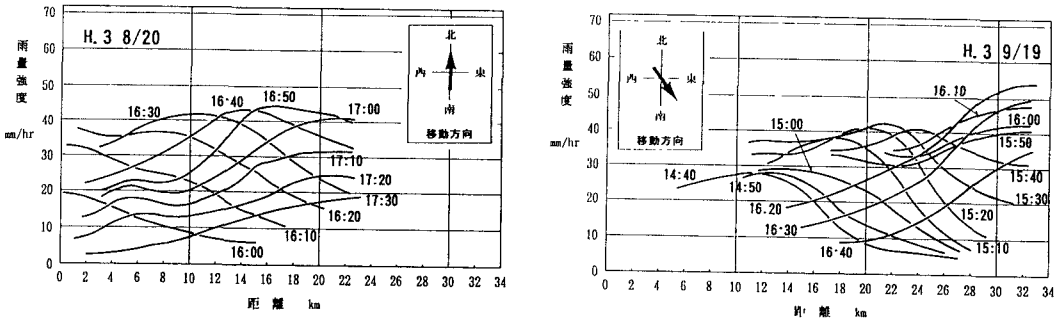


図-5 移動方向の雨量断面分布の経時変化

そこで、本報においては、3.1の方法による移動方向の分布を用い、速さは安定した一定の値が得られるものとして、10、15、20km/hrの3ケースにより検討した結果を比較し、4降雨の全てで最も適当と思われる15km/hrを用いて検討を行うものとした。このときの移動のみの雨量分布と観測値との差を消長とし、その変動を示したものが図-6である。先の図-4における消長の変動より若干小さく安定した結果が得られている。

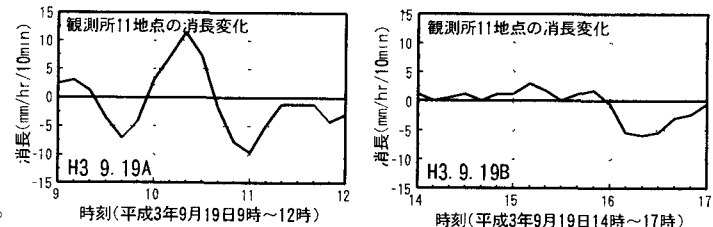


図-6 消長量の経時変化（速度15km/hr）

消長は、60分程度の大きな（10分で10mm/hrの変動）振動をもつ場合と、比較的安定している場合がある。1連続降雨においても、初期と後期の降雨波形にこの傾向の差がはっきり分かれる場合が見られた。消長を考慮する予測として、消長量は前時刻（10分前）からの移動のみの分布と、現時刻の観測値分布の差により空間的な消長量の分布を作成し、消長量も雨域の移動速度で移動させるものとした。

4. 短時間雨量の予測結果と評価

4.1 予測の結果

予測の結果は、4降雨におけるピークで30mm/hrを超える規模の降雨波形（6波形）を、3hrの範囲で抽出し検討した。（1降雨に2山ある場合には前期をA、後期にBを付し区別）。6波形において、移動のみに良好に予測出来る場合やそうでない場合、消長項を加えた方が移動のみによる予測より改善される場合や逆の場合、が明確に分けられた。図-7に予測が比較的良好な場合と予測が困難な場合の例を示す。4降雨、6波形（3時間範囲、30mm/hr以上）のうち3波形において比較的良好に予測出来ていた。

図-7(a) 比較的良好な例(H5.8.27 A)

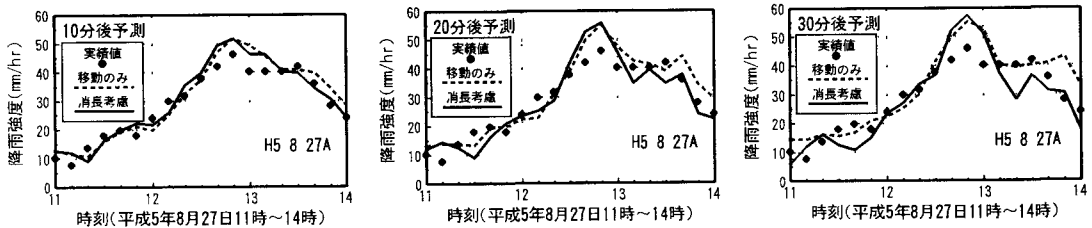


図-7(b) 予測が困難な例(H5.8.27 B)

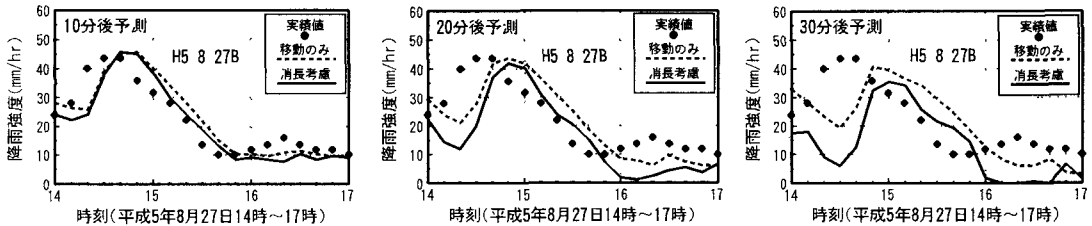


図-7(c) 比較的良好な例(H3.9.19 B)

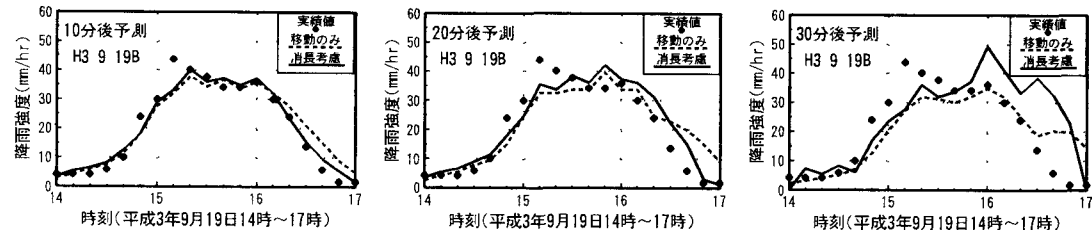


図-7(d) 予測が困難な例(H3.9.19 A)

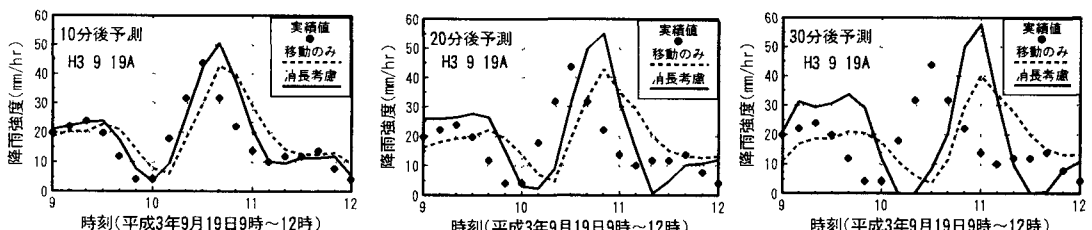


図-7 降雨予測結果

4.2 予測結果の評価

抽出した6波形（3時間毎、ピークで30mm/hr以上）での予測地点No.11観測所の実績値と予測値の標準偏差を求めた。リードタイム10分においては移動のみにおいて3mm/hr～10mm/hrの範囲の標準偏差となった。5mm/hr程度内の標準偏差の波形（図-7(a), (c)：図-8、図-9中太線）では移動のみで降雨の立ち上がり等で良好に予測出来ており、消長を加えるとさらに精度の向上がみられる。これらの波形は30分のリードタイムにおいても移動のみでほぼ良好な予測結果を得られ、消長を加えると逆に精度が悪くなる。これは、消長の継続性が10分程度であり30分まで継続するとすれば成長・減衰が逆にまで変動することによる。10分のリードタイムで、移動のみで5mm/hr～10mm/hrまでの大きい偏差をもつ降雨（図-7、(b), (d)：図-8、図-9中細線）は移動のみの予測値が観測値を予測時間分遅らせただけとなっており、消長の強い降雨、もしくは移動の把握できていない変動の激しい降雨であったと考えられる。これらの波形は10分のリードタイムにおいては消長項を加えることで若干の修正が効くが、30分のリードタイムとなると、さらに精度が劣ることになった。特に予測の困難であったH3.9.19Aの降雨の変動を調べてみると図-1の観測所のうちNo.55付近（中心より南5km付近）にピークをもつ、10分間で15mm/hr程度の極めて立ち上りの激しい降雨が発生しており、予測地点であるNo.11も殆ど時間差がなくピークを迎えている。雨域の中心と反対側のNo.24（約8km北）でも同時刻にピークを持つ若干小さい降雨が観測されている。このように時間的に尖鋭な変動をもつ降雨であり、発生からピークまで30分程度の降雨でさらに移動も殆ど見られない場合には、10分単位のデータによる30分予測は極めて困難である。

5. 考察

5.1 本研究の成果

(a) 短時間雨量（30分平均雨量）の変動や分布の特性

- ① 短時間雨量は30～60分程度の雲の発達・減衰のサイクルと考えられる⁴⁾周期をもった雨域が10～20km/hr程度の速度で移動していると考えられる。
- ② 移動の方向、速さ、消長は雨域によって変化し、移動が小さく消長が卓越する場合もある。立ち上がりの速い雨量の場合、10分で15mm/hrも大きくなり、この場合の30分予測は困難である。
- ③ 雨域は、23km四方の範囲では1つもしくは2つ程度で、1つの雨域のひろがりや20kmオーダーのスケールと考えられる。ピークで40～50mm/hr程度の雨量は、3km離れると5～10mm/hr、10kmで20mm/hr低減する傾きをもつ分布がみられた。

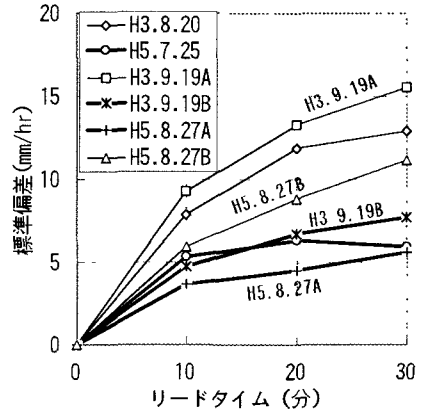


図-8 予測値の標準偏差（移動のみ）

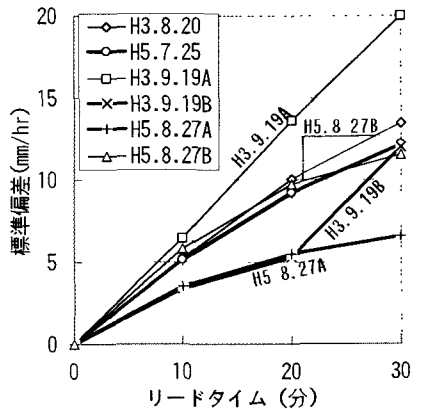


図-9 予測値の標準偏差（消長考慮）

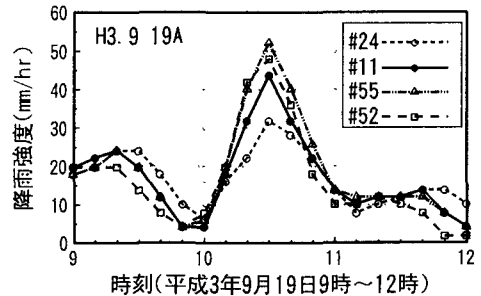


図-10 各観測所の降雨波形

(b) 狭域・短時間雨量の予測

- ① 10分の予測においては、雨域の移動・消長の継続性が認められ、移動のみでなく、消長を考慮した場合の予測結果が良好となる。
- ② 30分予測においては、移動速度が比較的安定し、消長量が小さい場合に移動のみで良好な予測結果が得られた。雨域によって移動が変化する場合や、消長が卓越し大きい場合には、予測が困難である。消長のサイクルが30～60分程度と考えられることから、移動をいかに正確に把えても消長量の単純な30分外挿による予測は困難である。

5.2 予測精度向上の方策

(a) 対象領域の拡大

本研究の23km四方の領域では、ひとつの雨域の主要な範囲の規模が20km程度と仮定すれば、雨域の分布形状の全容やその発生からの消長・移動を把握し、領域中心点の予測を行うには、予測地点周りに20km以上、約50km四方面程度の領域、雨量観測のネットワークが必要であると考えられる。

(b) 細かな時間の雨量データ

本研究では10分単位のデータにより移動・消長を把えようとしたが、雨域のライフタイムが30～60分とすれば、10分単位のデータでは消長の変動傾向を把えるには粗いと考える。さらに細かい時間間隔の雨量データが得られれば、消長の周期性等を考慮した精度良い予測の可能性はあると考える。

(c) レーダ雨量の活用

広域的な空間的に連続した雨量を把握する方法としてレーダ雨量計がある。狭域・短時間の雨量予測に活用する場合には、対象とする降雨が時空間的な雨量の変動・分布のスケールが小さいことから、地上の短時間雨量（強度、10～30分雨量程度）との相関を明らかにすることはもとより、積雲スケール⁵⁾の時空間の解像度をもつ観測（例えば5分毎、1kmメッシュ等）と、広範囲での全体的・平均的な移動傾向のみでなく積雲スケールにおける個々の雨域の移動・消長を考慮出来る予測手法の開発が必要と考えている。

5.3 今後の課題

今後は、30分平均雨量のみでなく、10分雨量等さらに短い時間雨量や雷雨性降雨の変動・分布特性、それが都市中小河川の流出に与える影響を明らかにしていきたいと考えている。

本報では都市中小河川流域規模を対象として、狭い範囲での短時間雨量の変動を追求したが、その雨域は23km四方の領域では全容をとらえきれはることは少なく、また移動速度も20km/hr程度と考えられ1時間内外で領域を通過してしまう。このことからさらに広い範囲での雨量計ネットワークの整備や解析、レーダ雨量計との連携を考えていくことが、短時間降雨予測の精度を向上させる上での方策と考えられる。

本研究で雨量データの収集にあたり、東京都土木技術研究所の協力を得たことをここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 谷岡康・福岡捷二・岩永勉・北川明：都市域中小河川における洪水水位と雨量の直接的関係を用いた洪水解析－東京都神田川の事例－，水工学論文集第38巻，1994年2月
- 2) 谷岡康・福岡捷二・岩永勉・傅雲飛：都市中小河川流域規模を対象とした短時間雨量の変動特性と短時間雨量予測の試み，水工学論文集第39巻，1995年2月
- 3) 谷岡康・福岡捷二・傅雲飛・岩永勉：都市中小河川流域規模を対象とした短時間降雨予測の試み，土木学会第50回年次学術講演会概要集第2部（A），平成7年9月
- 4) 沖大幹・虫明功臣：雨滴粒径分布観測による短時間降雨強度の変動特性，水工学論文集第38巻，1994.2.
- 5) 沖大幹：水文・水資源学のための気象予測概論，水文・水資源学会セミナーテキスト「気象予測とその水文・水資源学への応用」1992年5月