

大雨の分布形態と地形量の関係について

Relationship between heavy rainfall distribution and geomorphological condition.

法政大学工学部 正員 山田啓一

1. はじめに

洪水の原因となる大雨の空間分布と地形条件の関係を解明することは、洪水調節計画や貯水池操作上きわめて重要である。また、レーダー雨量計による降雨量の推定にも、地形効果などによる補正が精度向上のカギとされている。降雨量と地形の関係は、気象学・気候学の立場から数多くの研究がなされているが、河川工学の立場では、とくに以下の点が求められている。すなわち、治水計画の対象となるような大洪水群について、洪水調節用貯水池の流域面積（100 Km² ~ 1,000 Km² 程度）に対応するスケールで降雨の空間分布を解析し、一定の気象条件下での降雨分布を予測することである。

この様な視点に立ち著者は、利根川上流域における両者の関係について、以下の点を明らかにした。①全流域平均値に対する各地点の降雨量の多寡を示す指標として「多雨度」を提案した。②対象流域を7つの小流域に分割し、各小流域ごとに多雨度を求め、その分布から対象洪水を4つの洪水型に分類した。③大雨の原因となった台風経路は、TE, TW, Tの3つに区分され、これらはそれぞれの洪水型と対応することを示した。④各洪水型について、時間雨量と風速・風向の関係から、TW型では、ESE方面、TE型ではENE方向の卓越風が認められ、T型では、風向は一定せず風速も小さかった。⑤各卓越風向に対する暖湿気流流入経路図を作成し、地形条件の指標として「地形効果度」を提案した。⑥各小流域の多雨度を地形効果度より推定した。

しかし、小流域内においても、個々の観測地点間ではかなり地形条件も異なり、降雨量にも相当の差がある。降雨と地形の関係をより直接的に検討するためには、個々の観測所における地形条件を計測し、降雨量との関係を明らかにする必要がある。

本研究では、従来の成果に基づき、個々の観測所の地形条件を4つの地形量で示し、重回帰式により多雨度を推定した。

2. 対象流域と多雨度の算定

解析対象流域として、利根川上流域（八斗島地点上流）における1902年～1982年の81年間の上位26洪水を選定し、各洪水時の3日雨量を用いた。雨量観測所は112カ所である。

また、各洪水時の台風経路から、TE型（流域東側を北進する台風で10例）、TW型（流域西側を通過する台風で11例）、T型（関東地方南岸を北東進する台風で5例）に分類した。なお、降雨量と風向・風速の関係から、TE型ではENE、TW型ではESE方向の卓越風が確認され、T型では、風向が一定せず風速も小であった。

つぎに、各観測所の降雨量が全流域平均降雨量に対して、多雨であるか少雨であるかの指標「多雨度」を次式で定義する。

$$R_{ij} = (r_{ij} - r_i) / r_i \quad \text{--- (1)}$$

ここに R_{ij} ; i 洪水時の j 観測所の多雨度、

r_{ij} ; i 洪水時の j 観測所の3日雨量 (mm)

r_i ; i 洪水時の全流域平均3日雨量 (mm)

3. 地形条件の計量化

地形による強制上昇や水平収束あるいは、擾乱の発生・発達に地形が関与するなど、降雨の空間分布に地形が大きな役割を果たすことが明らかになってきた。とくに短時間の強雨は、局地性が著しくこれを天気図などに示される中規模擾乱だけでは説明しきれないことがしばしば生起している。立平³⁾は、二次元モデルを作成して地形効果を表現し、地形とは無関係な気象擾乱による雨滴を与え、これが地形効果によって増加した雲水を捕捉することによって集中豪雨を算定した。

100 Km² ~ 1000 Km² オーダーでの気象擾乱の下でさらに細かな分布形態は、地形条件によって支配されると考えてよいであろう。流域平均降雨量は、前線の発達状態や台風の規模、強さなどに支配されるが、個々の地点の降雨量は気象擾乱の性質と地形条件に規定されると考えられる。すなわち、(1)式で求めた多雨度は、台風の強さよりも、各洪水型に対応した風向と地形条件に強く依存すると考えてよい。

また、Tasaka³⁾は、強雨と地形の関係について、四国地方の雨量分布を調べ、時間雨量分布は特定の地域に集中して現われないが、日雨量分布では山岳の南斜面に強雨域が現われるとしている。

この指摘は、時間単位よりむしろ日単位の雨量分布の方が地形との関係が強く、大河川の洪水を考える時、地形と降雨分布の重要性を示している。

Linsley⁴⁾は、日雨量から最大時間雨量を推定するにあたって、地形勾配・標高・方位・障害・開放度・地帯性のパラメーターを用いた共軸相関図を作成した。

地形因子と降雨量との関係を考察した研究は他にもあるが、⁵⁾~⁶⁾気象条件との関係が十分説明されていない。

ここでは、利根川流域における降雨と地形のマクロ的研究成果をふまえて、以下に示す地形条件を形量化する。

(1)標高 山岳による空気の上昇は降雨生成の重要な因子であって、一般に標高を増すほど降雨量が増加するが、高い山では多雨地帯をこえると、再び減少することが確認されている⁷⁾。「標高」は、雨量観測所の海拔標高で表わす。

(2)勾配 観測所付近の暖湿気流流入方向に対する地形勾配は、その地点付近の垂直上昇量の一指標となる。この場合、勾配を測定する水平距離をどの程度とするかが重要となる。

ここでは、たとえば、ESE方向の卓越風が認められたTW型洪水においては、勾配 S_s は、次式により算定する。

$$S_s = (\bar{E}_{WNW} - \bar{E}_{ESE}) / 40 \quad (2)$$

ここに、 $\bar{E}_{WNW}$ は、観測所からWNW方向に20 Km離れた地点の平均標高である。また平均標高は、それぞれ、11.25°ずつ傾いた2点を含む3地点の標高の算術平均とする。

ENE方向の卓越風が認められたTE型洪水に対する勾配 S_N も全く同様である。(図-1)

(3)障害 暖湿気流は、風上側の高い山岳によりしばしば流入を妨げられる。この効果を表わす指標として、障害(B)を定める。たとえば、ESE方向の障害を B_s とすると、図-2に示すように、観測所からESE方向を中心に長さ50 Kmの5本の放射線を引き、各線上での最高標高を1地点ずつ選り5地点の標高の平均値を $\bar{E}$ とし、観測所の標高を E_0 とすると次式で与えられる。

$$B_s = \bar{E} - E_0 \quad (3)$$

ENE方向の障害 B_N も全く同様である。

(4) 山越え補正量

気塊が2度山越えをするような場合、2回目の山越えに伴う地形性降雨の推定にあたっては、1回目の山越えて地形性降雨として落下したはずの水蒸気量を差し引かねばならない。上記の考えから、山越え補正量としてつぎのように算定する。

$$M_s = (\bar{H} - H) / \bar{H} \quad (4)$$

Hは、観測所からESE方向に長さ80 Kmの直線を引き、この直線上で標高600 m以上の山体の連なる区間

において、気塊の地形性上昇で降水があったと考えられる区間の総地形上昇量 $\Sigma \Delta H$ である。(図-3), $\bar{H}$ は各観測所のHの平均値である。

ENE方向の山越え補正量 M_N もまったく同様である。

なお、勾配・障害の計測にあたっては、国土地理院発行の20万分の1地勢図、山越え補正量については、50万分の1地方図を用いた。

4. 地形量による多雨度の推定

(1)地形量と多雨度の相関 各観測所における各洪水型の多雨度と勾配・障害・標高について相関係数を算定すると、表-1のようである。RとSは正の相関が認められる。とくに、 R_{TW} と S_S 、 R_{TE} と S_N の相関は、それぞれ0.6、0.64と高い。これに対し R_T とSの相関は非常に小さい。一方、RとBは負の相関が認められ、とくに R_{TW} と B_S 、 R_{TE} と B_N の相関係数は、-0.55、-0.56と高い。一方 R_T とBの相関は非常に小さい。

また、RとEの相関係数は、いずれの洪水型においても小さく、無相関といえよう。

すなわち、 R_{TW} と、 S_S 、 B_S 、 R_{TE} と S_N 、 B_N の間に高い相関関係が認められ、 R_T は、いずれの地形量とも無相関であった。

この結果は、TW型洪水ではESE方向、TE型ではENE方向の卓越風が認められ、T型では風向は一定せず、風速も小さかったという事実とも符合している。

(2)勾配(S)と障害(B)の重回帰式による多雨度の推定

前項でとくに相関の高かった勾配と障害を説明変数とする重回帰式を用いて、多雨度の推定を行なった。その結果を表-2に示す。

同結果によれば、実測値と推定値の相関係数は、 R_{TW} 、 R_{TE} それぞれ0.66および0.65であった。両洪水型とも、勾配の方が障害より標準回帰係数が大きいことが判明した。

(3)山越え補正量を考慮した多雨度の推定

勾配と障害を説明変数とする多雨度の推定値 R'_{TE} と実測値 R_{TE} の差 ΔR_{TE} を次式で定義する。

$$\Delta R_{TE} = R_{TE} - R'_{TE} \quad \text{--- (5)}$$

ΔR_{TE} と標高の関係を図-4に示す。

同図から、標高が500mをこえるところより ΔR_{TE} が大きくなっていることがわかる。さらに ΔR が負の値を示すもの、すなわち実測値よりも多雨と推定した地点は、奥利根流域などのように、風上側に山岳地帯の広がる山奥地である。また、実測値よりも少雨と推定した地点は、赤城山など風上側に高い山が存在しない所に位置している。同様なことは ΔR_{TW} においても指摘される。以上の考察より、 ΔR は、各観測所付近に流入する暖湿気流がその経路で受けた山越えによる水蒸気量の変化の大小によると考えられる。

そこで(4)式で定義される山越え補正量 M_S 、 M_N を適用して、推定多雨度 R'_{TW} 、 R'_{TE} を次式で補正する。

$$R'_{TW} = |R'_{TW}| M_S + R'_{TW} \quad \text{--- (6)}$$

$$R'_{TE} = |R'_{TE}| M_N + R'_{TE} \quad \text{--- (7)}$$

上式により補正された多雨度 R'' と実測値Rとの相関図を図-5に示す。両者の相関係数は、 R_{TW} 、 R'_{TE} それぞれ0.76と0.71である。

5. まとめ

降雨の空間分布と地形条件の関係について、以下の点から考察した。(1)利根川上流域の洪水をTW型、TE型、T型に分類し、各洪水型の卓越風向と降雨量の関係を背景に、各洪水型に関連の強い地形因子として、勾配・障害・山越え補正量・標高を計量化した。(2)各洪水型の卓越風向に対応した勾配および障害と多雨度の間に高い相関が認められた。(3)勾配と障害を用いた多雨度の重回帰分析の結果から、TW型、

TE型ともに障害よりも勾配の方が、多雨度に関係していることが判明した。(4)標高500 m以上の地点では、障害と勾配に加えて、山越え補正量に関係し、三者により、相関係数0.7をこえる多雨度の推定が可能となった。

勾配・障害・山越え補正量は、気塊の上昇運動の強さ、流入する気塊の量、流入する気塊中に含まれる水蒸気量の地形条件による変化の度合を表現していると考えられる。水平収束による効果は、十分考慮されていないが、地形的に水平収束があり得る地点についての多雨度の推定状況から、水平収束の位置づけと、計測法を検討する必要がある。

なお、勾配計測時の水平距離のとり方には、検討が必要である。たとえば、種々の水平距離により求めた勾配と多雨度の相関関係から、妥当な水平距離を決定することも求められる。

最後に、資料提供していただいた建設省関東地方建設局河川計画課の諸氏、資料整理・解析の協力をしていただいた中村 洋氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山田啓一；大雨の空間的分布形態と地形条件について，第28回水理講演会論文集，pp.509～513，1984.
- 2) 立平良三；雨滴成長を考慮した地形性降雨の計算，天気，Vol.23，2，pp.27～32，1976.
- 3) Ikuo Tasaka；A Case Study of Distribution of Heavy Rainfall Caused by a Typhoon，Japanese Progress in Climatolgy，pp.82～89，1981.
- 4) R.K.Linsley；Correlation of Rainfall Intensity and Topography in Northern California，Trans. A.G.U.，Vol.39，pp.13～18，1958.
- 5) 志賀是文；降雨特性に関する二、三の考察，土木学会論文集，Vol.59，pp.43～48，1959.
- 6) 市原四郎，藤原喜啓，芦田義則，安部友則；仁淀川における降雨特性と降雨観測体制についての考察，第36回建設省技術研究発表会，pp.890～896，1983.
- 7) J. Smallshaw；Some precipitation - Altitude Studies of the T.V.A.，Trans.A.G.U.，Vol.34，pp.583～588，1953.

TABLE-1 Correlation coefficient between Rainfall Index and Topographic parameters.

R	S		B		E
	SS	SN	BS	BN	
R_{TW}	0.60	0.48	-0.55	-0.45	0.17
R_{TE}	0.44	0.64	-0.47	-0.56	-0.16
R_T	0.23	-0.99	-0.39	-0.02	-0.16

TABLE-2 Standard partial regression coefficient.

Rainfall Index	Topographic parameter	
	S	B
R_{TW}	0.440	-0.256
R_{TE}	0.284	-0.164

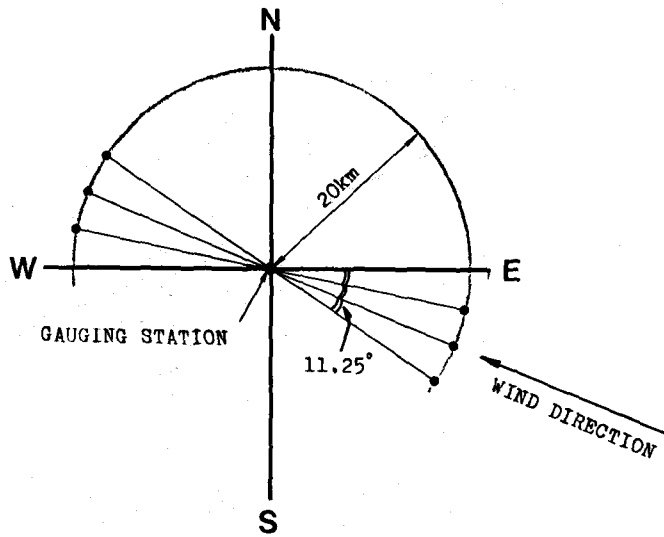


FIG.1-Definition of Land Slope.

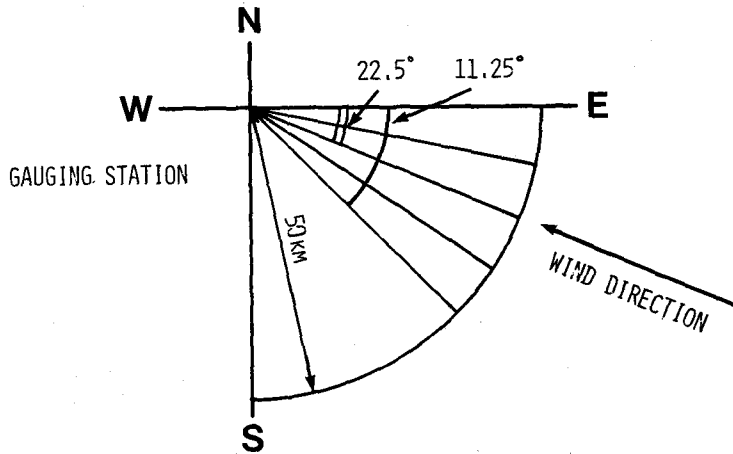


FIG.2-DEFINITION OF BARRIER.

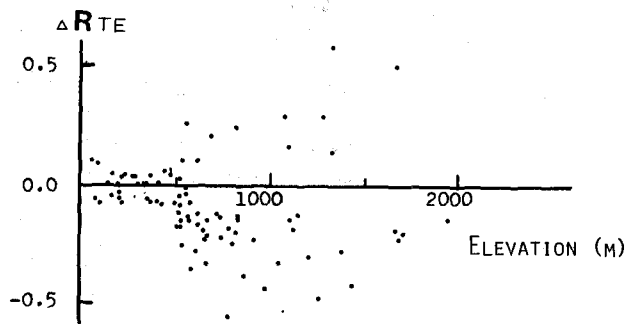


FIG.3-Distribution of ΔR_{TE}

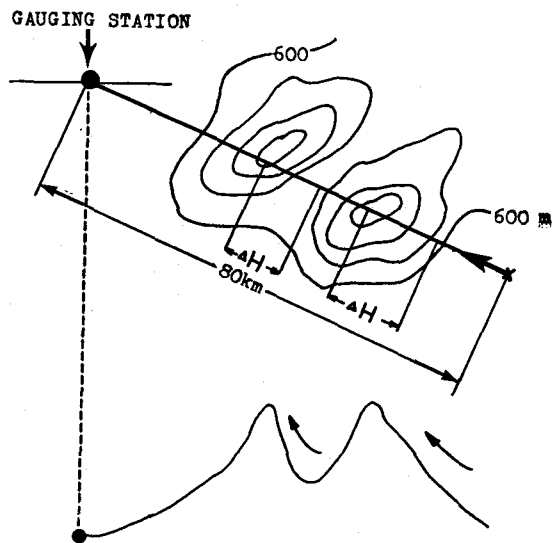


FIG.4-Definition of Modification α factor.

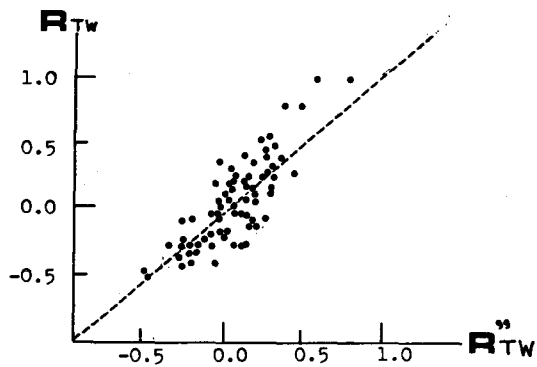


FIG.5-Relation between Rainfall Index and its estimated value.