

斐伊川流域における豪雨の DAD 解析について^{※※}

田 中 礼 次 郎[※]

Reijiro TANAKA

Some Considerations on the Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation over the Hi River Basin

ま え が き

降雨予測は気象学的、地形学的などの複雑な多くの要因がからみ合って、わが国の現状の観測施設およびその数、観測値からの予測技術などから見て、1つの河川流域程度の小区域に対する的確な予測は残念ながら大へん困難なようである。しかし降雨に起因する自然災害は各地にひん発し、これの対策は緊急かつ重要な社会的課題

である。豪雨災害の機構解明を分担する工学的分野においては、気象学的解明とは別途の手法、すなわち対象流域の過去のデータから豪雨の特性を知り、これに基づいて目的に応じた降雨量を正しく評価する手法について多くの研究がなされている。またこの成果は防災上の具体的計画の上で数多く活用されている。この意味において本来ならば降雨に関連する気象、地形要因も併せて検討すべきであるが、ここではとりあえず斐伊川流域（流域

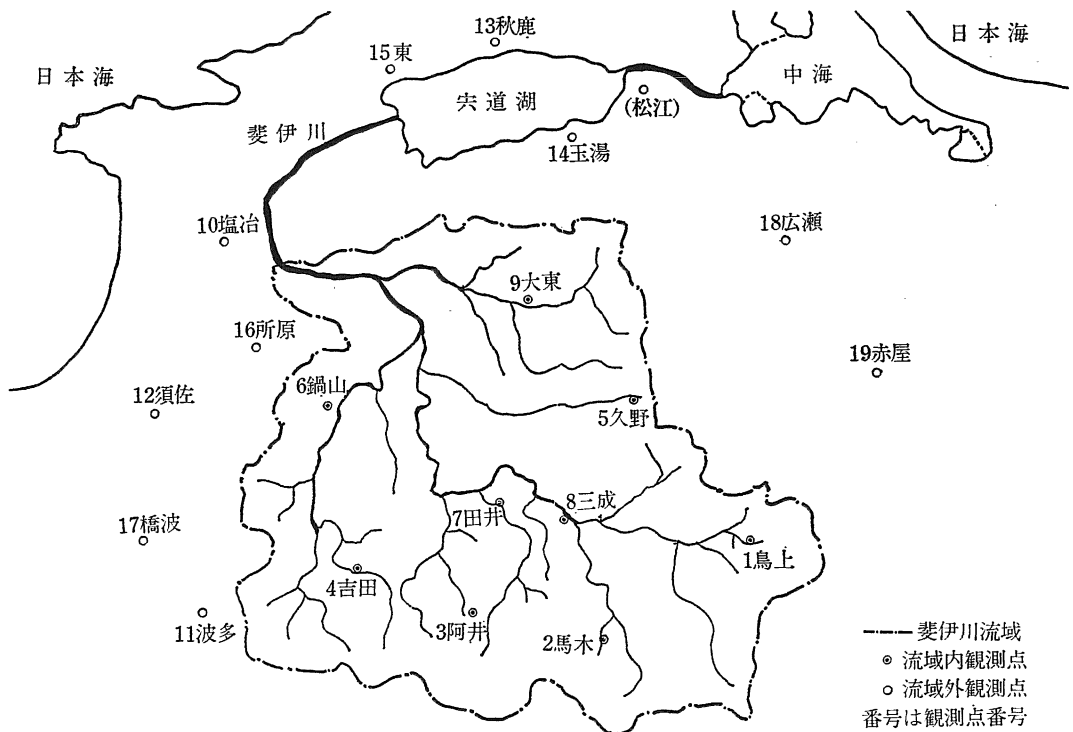


図1 斐伊川流域と雨量観測点

※ 農業水利工学研究室

※※ 第31回農業土木学会中国四国支部講演会発表

表1 降雨観測地点一覧

観測地点	鳥上	馬木	阿井	吉田	久野	鍋山	田井	三成	大東	塩谷	橋波
観測期間(年)	20	20	20	20	18	18	18	4	3	23	9
標高(m)	430	440	333	360	290	100	150	244	60	8	197

面積 914km²) を対象として、既存の降雨資料に基づいて解析を行い、治水計画上必要な流域平均雨量、流域面積と平均雨量関係などについて、従来から提案されているいくつかの算定法を用いて若干の比較検討を試みた。

1 斐伊川流域の降雨記録

降雨記録は建設省出雲工事事務所が観測している観測点19ヶ所のうち、斐伊川流域内9点と隣接地域内2点、

あわせて11点の時間雨量記録を整理して用いた(図1参照)。なお表1に示すようにこれらの観測所の標高はEL 8m~440mの広範囲に分布し、観測期間は3~23年で観測所によってかなりの差がある。

2 豪雨の地域性

1例として昭和47年7月9日~13日にわたる豪雨から、平均的に見て11観測所とも大体最大降雨量と見なし

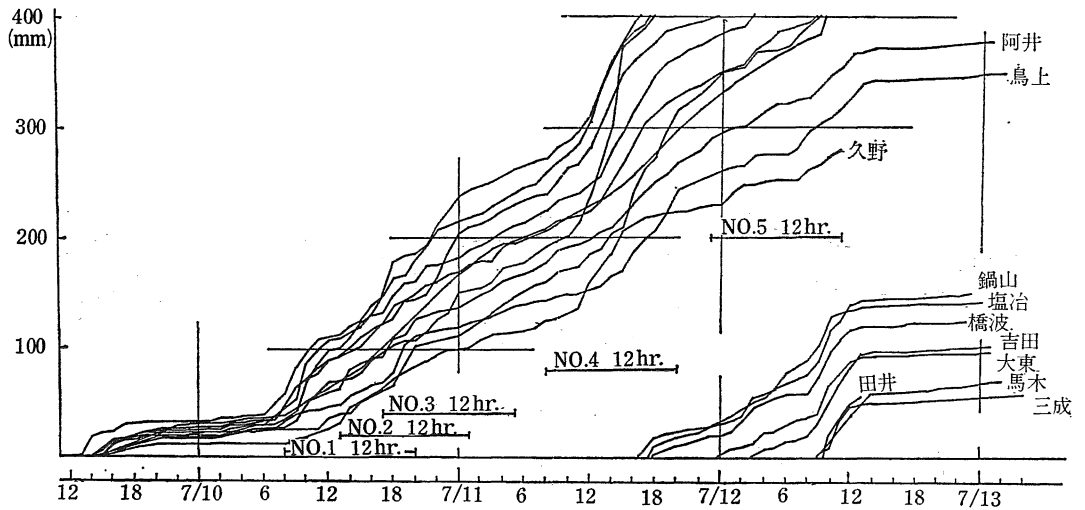
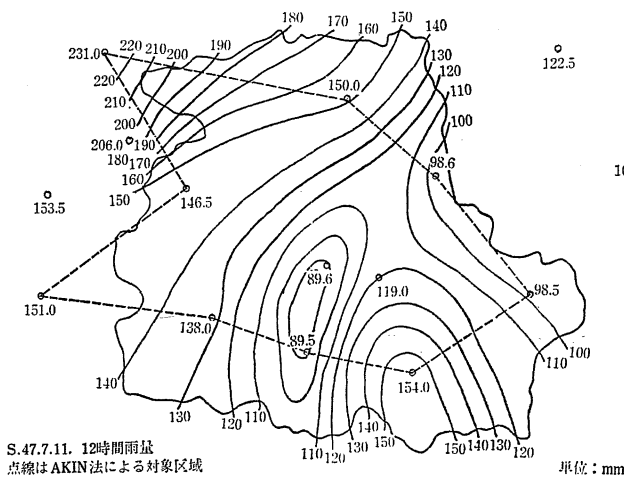


図2 昭和47年7月9日~13日の雨量累加曲線



S.47.7.11. 12時間雨量
点線はAKIN法による対象区域

図3 昭和47年7月豪雨時の12時間雨量の等雨量線

うる同時期間を、図2のマスカープから調べて最大12時間雨量(図2のNo.4)を取り出し、等雨量線図をつくと図3のとおりである。これからわかるように、流域全体にわたる長時間の代表的豪雨でも、流域内の場所によっては2倍以上の降雨量差が見られ、この例では予想に反して平地に多く山地に少ない傾向の分布を示している。総降雨量(9日~13日)についても、図2から標高の大きい鳥上、阿井地点などよりも、低標高の塩谷、鍋山地点の方が多くなっている。また豪雨によっては図4のように山地の方が多い分布を示すこともある。すなわち一般に云われている標高が高くなるにつれて降雨量が多くなる標

高と降雨量の相関関係は、少なくともこの例のような一雨豪雨については成立しない場合のあることがわかる。これは豪雨をもたらす気象要因が、降雨の地域分布をより大きく支配することを示すものである。そこでさらに多くの観測値に基づく一雨豪雨の地域性を検討するために、100mm/24hr以上の豪雨を各観測所ごとに取り出し、これから1, 2, 3, 4, 6, 12, 24hrの7種の降雨継続時間内の最大降雨量を整理してその分布を調べると、いずれも指数分布に近似できるので、各継続時間ごとの指数分布関数を推定し、これを用いて確率降雨量を求め、その比較例を表2に示した。この結果でもむしろ平地の方が多い傾向を示している。このことは斐伊川流域においては、豪雨だけを対象にした場合には、降雨量と標高の間の正相関関係は成立していないといえる。そこで年間総降雨量について同じように確率雨量で比較すると、表2に併示したように標高が高くなるほど年間総降雨量は多くなる傾向にある。すなわち年間総降雨量ほどの長期間の総雨量は、大体標高に応じて増減しているようである。

3 各平均雨量算法による結果の比較

1) 計算対象降雨は、図2の47年7月豪雨から5つの12時間雨量 (No.1~No.5) を選び、各観測所

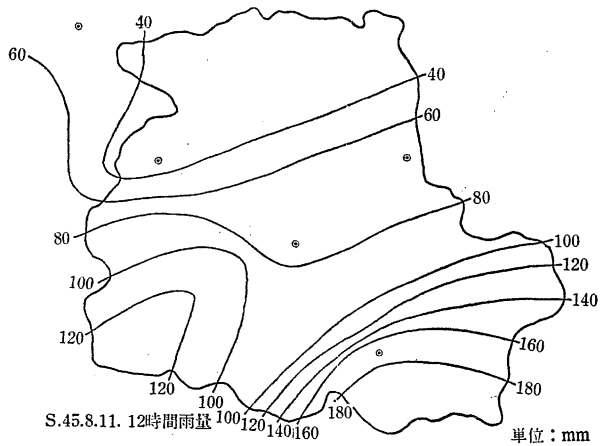


図4 昭和45年8月豪雨時の12時間雨量の等雨量線

表2 標高別雨量比較表 (10年確率)

観測地点	馬木	阿井	久野	三成	田井	大東	塩谷
標高 (m)	440	333	290	244	150	60	8
12時間雨量 (mm)	161	161	167	(181)	160	(168)	187
年雨量 (mm)	2556			2214		2166	2064

注 () は観測期間が10年未満のため参考資料。年雨量は別資料 (突道湖水位60年報, 1955, 鳥根県) を使用した。

表3 昭47年7月豪雨時の12時間雨量

(単位 mm)

観測点 降雨No.	鳥上	馬木	阿井	吉田	久野	鍋山	田井	三成	大東	塩谷	橋波
1	79.5	89.0	93.5	114.0	57.5	140.5	91.0	100.0	110.0	80.5	122.0
2	75.0	86.0	80.0	90.0	62.0	135.5	105.5	84.0	118.0	84.0	103.0
3	69.0	85.0	72.0	78.0	52.0	112.5	95.0	75.0	108.0	80.0	92.0
4	98.5	154.0	89.5	138.0	98.6	146.5	89.6	119.0	150.0	231.0	151.0
5	62.0	85.0	66.0	87.0	51.0	96.0	110.5	76.0	78.0	104.5	88.5

ごとの値を示すと表3のようになる。これらの雨量について、従来からよく使用されているティーセン法、等雨量線法と、次に述べる J. E. AKIN が提案した方法 (AKIN 法とよぶことにする) により計算した結果を比較する。

2) AKIN 法

J. E. AKIN が1971年に提案した平均雨量算法で、図5に点線で示すように各観測点を結ぶ三角網をつくり、各三角形の頂点の座標 (x, y) をある基準座標軸で与えると、三角網でおおわれた区域の平均雨量 H は(1)

式で計算できる。

$$\left. \begin{aligned} Q_n &= \iint [n\alpha_1 + n\alpha_2x + n\alpha_3y] dx dy \\ Q &= \sum Q_n, A = \sum A_n, H = Q/A \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ここに Q_n : A_n に降った降雨量, A_n : 任意の1つの三角網の面積, $n\alpha_1, n\alpha_2, n\alpha_3$: 三角形の各頂点の降雨量に関する定数, H : 平均雨量

この方法は観測点数が増減しても、三角網の各頂点の座標を与えれば、各頂点 (各観測所) の支配面積をその都度測定しなくても簡単に H が計算できる。一方図5からわかるように、観測点数およびその配置が適当でな

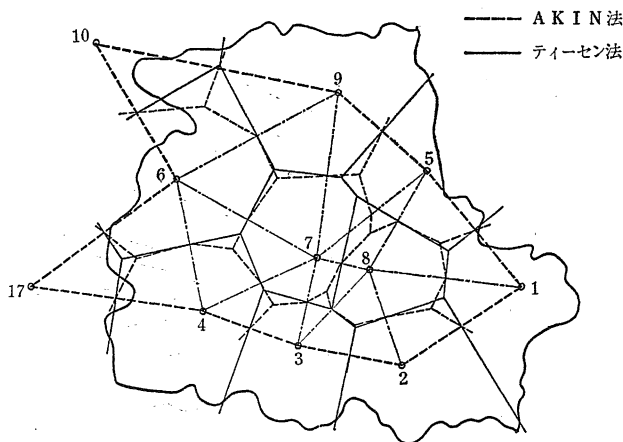


図5 ティーセン法と AKIN 法の支配面積比較

表4 各方法による平均雨量の比較 (単位 mm)

降雨No.	AKIN法	ティーセン法	等雨量線法	算術平均
1	103.5 103.5	100.8 104.4	99.5 104.6	97.2 98.0
2	100.8 100.8	96.5 100.8	94.3 99.6	92.9 93.0
3	89.2 89.2	86.3 88.2	84.4 87.1	82.9 83.5
4	131.2 131.2	127.8 129.2	129.6 131.7	120.4 133.2
5	85.8 85.8	81.0 85.3	77.8 81.7	79.1 82.2

注 下欄が面積を同一にしたときの平均雨量

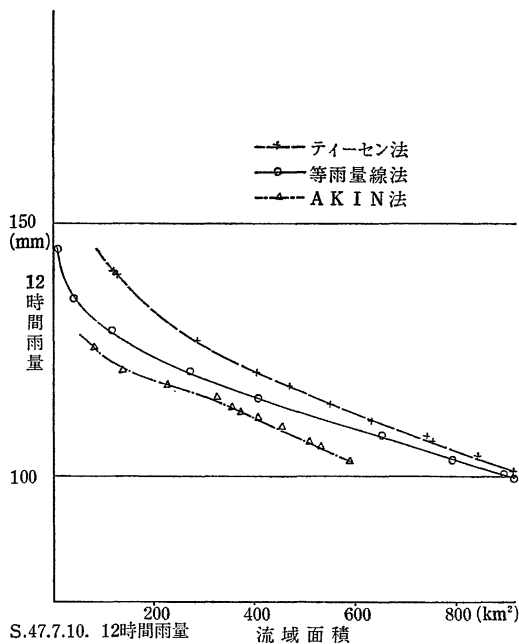


図6 面積—平均雨量曲線

いと、流域界と三角網でおおわれる範囲の差が大きくなり合理的な流域を代表する平均雨量が得られない。

3) 結果の比較

a) 1)でのべた5つの雨量について各計算方法を用いた結果を表4に示す。これによると5つの平均雨量とも AKIN 法が他に比べて少し大きな値となっているが、これは図5からわかるように、ティーセン法、等雨量線法の計算対象面積が斐伊川流域面積(914km²)と一致するのに対して、AKIN 法による三角網の全面積が流域面積の約3/5(584km²)程度に小さくなっているためである。そこで3方法とも対象面積を AKIN 法の面積(584km²)にそろえて算出した場合の結果を表4に併示する。これから3方法ともほとんど差のない結果を与えていることがわかる。すなわち斐伊川流域においては、約50km²に1点(584km²÷11=53.1≒50km²)の観測密度から得られる豪雨時の平均雨量は、3方法のいずれを用いてもほぼ同程度の結果が得られることを示している。

b) a)の計算過程で得られる各観測点の雨量とその支配面積から、面積—平均雨量の関係を求めると、ここで扱った5つの降雨については、図6に例示するように大体ティーセン法、等雨量線法、AKIN 法の順に平均雨量は小さく評価される傾向にあった。これは観測点の配置によって地点雨量の支配面積が各方法ごとに変化するので、一般性をもつものではなく、斐伊川流域の観測点の配置の現状から計算した結果の1例であることはいうまでもない。また面積が大きくなるほど平均雨量が減少するが、等雨量線法を用いる場合は大体指数関数状になめらかに減り、他の2方法は若干不規則な減り方を示す場合が多かった。これは各方法の地点雨量の支配面積の定義から予想されることである。

4 面積—平均雨量の関係式

降雨継続時間を固定して、面積(A)—平均雨量(R)の関係を推定すると、図6のように一般に面積が大きくなるにつれて平均雨量は減少する曲線となる。いま斐伊川流域において3, 1)のNo.4の12時間雨量を用いて、等雨量線法およびティーセン法より求めたA—R曲線にいくつかの経験式をあてはめ、各式のパラメータの値とその適合性を比較する。適合性の良否は(2)式の相対平均誤差Fの大小により評価することにし

表5 面積—雨量関係式のパラメータおよび適合度

継続時間 (hr)	R ₀	Horton			Talbot			Sherman			Kuno		
		K	n	F(%)	a	b	F(%)	a	n	F(%)	a	b	F(%)
12	231.0	0.0778	0.288	0.8	326599	1707	3.4	239.1	0.0810	3.4	10648	51.2	0.9
		0.1039	0.246	3.8	249537	1180	7.5	324.0	0.1305	3.1	7847	31.7	4.5
6	180.5	0.1396	0.237	1.4	198881	1463	3.6	178.1	0.0987	3.7	6297	42.0	1.1
		0.0136	0.596	5.9	122181	717	8.9	285.1	0.1758	3.5	4043	19.4	4.8
1	74.5	0.3868	0.192	3.1	35093	1035	1.0	84.6	0.2227	4.4	889.8	19.0	2.9
		—	—	—	34016	1070	2.8	48.9	0.1371	6.6	1051.3	27.6	4.5

注 上欄は等雨量線法による値を用いたときの計算値
下欄はティーセン法

た。

$$F_i = \{ |R'_i - R_i| / R_i \times 100(\%) \} \quad \dots\dots(2)$$

$$F = \sum F_i / N \quad \}$$

ここに R_i : 等雨量線法またはティーセン法より求めた平均雨量, R'_i : 各経験式より求めた平均雨量, N : 流域面積分割数²⁾

1) ホルトンの公式

$$R = R_0 e^{-KA^n} \quad \dots\dots(3)$$

ここに R : 面積 A に対する平均雨量, R₀ : 地点雨量の最大値, K, n : 豪雨によって異なる定数

(3)式の K, n は任意の2組の R₁, A₁; R₂, A₂ を用いて(3)式から変形した(4), (5)式より計算できる。

$$(A_1/A_2)^n = \{ \ln(R_1/R_0) / \ln(R_2/R_0) \} \quad \dots\dots(4)$$

$$K = \ln(R_1/R_0) / A_1^n = \ln(R_2/R_0) / A_2^n \quad \dots\dots(5)$$

何組かの R, A を選んで計算した K, n のうちから適当な K, n を定めて R を計算すると, かなりの適合度 (F = 1 ~ 5%程度) が得られる (表5参照)³⁾。

2) タルボット, シャーマン, 久野型の計算式

図6から A—R 曲線は, 降雨継続時間 t と対応する降雨強度 i との関係曲線 (降雨強度曲線) に近似していることから, t を A に, i を R におきかえた(6)~(8)式を適用し, 定数 a, b, n は最小自乗法によって決定した式を用いて計算した結果の1例を表5に示す。

$$R = a/(A+b) \quad \dots\dots(6)$$

$$R = a/A^n \quad \dots\dots(7)$$

$$R = a/(\sqrt{A}+b) \quad \dots\dots(8)$$

ここに R : 平均雨量, A : 流域面積,

a, b, n : 豪雨によって定まる定数

表5から(6)~(8)式を用いて推定した R はともに F = 1~10%の範囲 (5%以下が多い) にあり, 多くの降雨継続時間 (ここでは 24, 12, 6, 4, 3, 2, 1hr の7種) の平均降雨量に対して, (6)~(8)式のうちの最も適合性が最良 (F が最小) を示す式はなく, 最小の F を示す式はそのつど異なる。しかし大体においてこの例

では久野型がよく適合するようである。

ホルトンの式は, (6)~(8)式の3つのうちの最も適合性のよい式と同程度の結果を与えている。すなわちホルトンの式の方が, K, n を適当に選べばより一般性をもつといえる。また表5からわかるように等雨量線法による A—R 曲線の方が, 全般的に(3), (6)~(8)式によく適合するようである。これは a, b) で述べた等雨量線による A—R 曲線が, 他の方法から求めた A—R 曲線よりもなめらかなてい減をすることと一致しているといえよう。

あ と が き

斐伊川流域における降雨について, 以上の解析から明らかになったことを要約すると次のようである。

1) 年間降雨量は標高と正相関関係にあるが, 一雨豪雨についてはこの関係は認められずむしろ地域性に支配される傾向にある。2) 豪雨時の平均雨量算定法として, 等雨量線法, ティーセン法, AKIN 法の3方法ともほぼ同じような結果が得られる。3) 豪雨時の面積—平均雨量関係曲線は, ティーセン法よりも等雨量線法による計算値から推定すべきで, その関係式はホルトン公式がよく適合する。

以上は, 斐伊川流域について, 現存する降雨観測施設の位置および数に変更がなければ, 実用的に同水系の水文計画上有益な参考となろう。なお本研究は, 50年度専攻生内藤, 山田両君の協力を得たこと, および文部省科学研究費 (自然災害) による成果の一部である, 記して謝意を表する。

参 考 文 献

1. AKIN, J. E. : Jour. of Hydrology 12: 363—376, 1971.
2. LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A. and PAULHUS, J. L. H. : Applied Hydrology : McGRAW-HILL, New York, 1949, 79—92.
3. 2)と同じ。

Summary

For most river training projects, it is often necessary to determine, not only the average depth of precipitation over a river basin, but the maximum depths of precipitation within a given storm for various areas and durations as well. Over the Hi River basin (914 sq. km), in this paper, the average precipitations were computed by using the methods of Thiessen, the isohyetal and Akin, and the maximum depth-area-duration curves of storm precipitation were obtained by using Horton formula and other procedures.

The storm records from 11 stations as shown in Fig. 1 were processed to analyze the characteristics of precipitation. The results which were derived in the ways described above are as follows ;

1. The annual precipitation over the Hi River basin increases as we go upward, but the amounts of storm precipitation depend on the locality rather than the elevation.
2. The methods of Thiessen, the isohyetal and Akin give approximately similar average precipitation.
3. The most accurate method for computing depth-area curves is the use of the Horton formula and the isohyetal method.