

降雨特性に関する二,三の考察**

准員 志 賀 是 文*

SOME CONSIDERATIONS ON THE RAINFALL CHARACTERISTICS

By Tadayoshi Shiga, C.E. Assoc. Member.

Synopsis : In this paper, a method by which the rainfall characteristics were analysed by considering the topographic effects upon the precipitation was applied to the upper basin of the Yura River, and using its results, the average depth of precipitation over the basin was estimated rationally. Furthermore, a rational method to compute the average hourly depth of precipitation over the basin was proposed and compared with the one which has been applied in the past. The author is hoping that these results would contribute much to the analysis of runoff phenomena.

要旨 本文では、主として地形の影響を考慮した降雨特性の解析法を由良川の上流部流域に適用し、その結果を用いて流域平均雨量を合理的に推定した。ついで流域平均時間雨量の算定について、降雨分布を考慮した合理的な計算法を提案し、従来の計算法と比較した。これらの成果は、流出現象の解析に資することが少なくないと考えられる。

1. 緒 言

近年わが国では頻発する水害に恒久的に対処するために、従来の治水計画が再検討され、さらに水資源の高度利用の立場から、治水および利水の諸計画の一貫性が強調され、各所に河川の総合開発事業が計画実施されている。これらの場合とくに重要なことは、降雨の流出現象を適確に把握することであり、その解析法として単位図法および分布図法が大いに注目せられ、わが国の河川に適合した単位図法の研究には見るべきものが少なくない⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかしながら、こうした水文図学的方法を真に効果的に適用するためには、流域の降雨特性を明らかにし、流域平均雨量を合理的に推定しなければならない。近年降雨特性の研究が活潑に行われるようになったが、その多くは長期間の降雨量についてであつて、流出機構の解析に直接必要な一連降雨については、みるべき研究が少なく、水文図学の発展に大きい支障となつている。

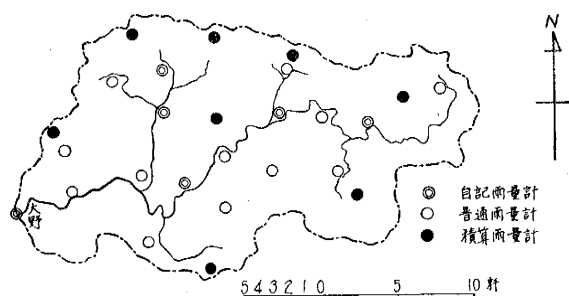
本文ではこの問題の解決に役立てることを目的として、まず一連降雨をその原因別に分類し、主として地形因子を考慮して雨量分布を解析する方法を説明し、由良川上流部流域に適用してかなり良好な結果をうる事ができた。ついでこの結果を用いて、降雨分布を考慮して流域平均雨量を合理的に推定する方法を述べ、従来の加重法で求めた値と比較して、雨量計の配置および密度について基準を与えた。さらに流域平均時間雨量の算定について、降雨分布を考慮した一計算法を提案し、従来の計算法と比較検討して、その精度を向上できることを確かめた。

この研究の対象とした由良川上流部流域は、大野ダム地点より上流部であつて、流域面積は350.4 km²、流路延長は40 kmである。われわれはこの流域に図-1に示すように、自記雨量計6、普通雨量計12、積算雨量計8を設置し、下流端大野ダム地点に自記水位計を設けて流量を求めようとし、過去7年間にわたり詳細な水文観測を継続実施してきたのであつて⁽¹⁾、本研究の水文資料はいずれもこうした観測の結果にもとづくものである。

2. 地形の影響を考慮した降雨特性の解析

降雨特性を支配する因子としては、降雨機構、気象条件および地形因子の三つがあげられるが、実際上はこれらが互いに影響しあつて作用するものと考えられる。

図-1 由良川試験流域における雨量計の配置



*京都大学助手，工学部土木工学教室，**昭和 33.5.25 土木学会第 13 回年次学術講演会にて発表。

一般に降雨は温湿な空気の上昇によつておこるもので、その機構としては、台風や低気圧などの気流の収束によつて上昇するものと、前線面に沿つて上昇するものがあり、この機構によつて地形因子に対する関係が異なつてくることが認められている⁴⁾。したがつて各降雨ごとにその原因を調べ、それによつて降雨機構を分類すればよい。つぎに気象条件としては、空気中の水蒸気量、風向、風力、気圧の配置および傾度、大気の安定性、上層気流の状態などが考えられるが、これらは資料に乏しくその収集が非常にむずかしい。しかしながら、これらの気象条件に支配される降雨機構を厳密に分類することによつて、気象条件をある程度考慮できるはずである。最後に地形因子としては、気象条件を変動させるような大規模のものと、局部的に降雨分布を変動させる小規模のものがある^{5),6)}。長期降雨の分布を考えるときには、後者の影響はその期間の多数の降雨を通じて平均化せられ、前者の影響が大きくあらわれてくる。ところが一雨ごとの降雨分布に対する地形の影響を考えるときは、降雨の局地性を考慮して、観測所付近の地形特性をあらわせるように、小規模な地形因子を考える必要がある。なお、わが国のような流域面積の小さい山地河川では、こうした小さい面積における降雨特性に対して、大規模な地形因子の影響はあまり変化せず、むしろ小規模な地形因子による影響が大きいと考えられる。

以上の考察によつて、ここでは降雨機構と小規模な地形因子をとりあげることにした。そして降雨機構によつて降雨特性におよぼす地形の効果を異にすることから、まず一連降雨をその原因によつて分類し、同じ原因に属する降雨を一群として取り扱い、各群ごとにある地点の降雨量とその地点の地形因子との関係を求めることにした。この場合地形因子としてはいくつかのものが考えられるが、互いに影響をおよぼしあつているはずであるから、各因子相互間の結合関係を求める Co-axial method⁷⁾を用いて、解析を進めることにした。

(1) **降雨原因の分類** 降雨の原因はいろいろ考えられるが、その機構によつて、(1) 台風の収束気流、(2) 低気圧の収束気流、(3) 停滞前線の活動、(4) 温暖前線の活動、(5) 寒冷前線の活動、(6) その他、のいずれかによるものに分類することができる。台風や低気圧の中心の通過経路、前線の位置、方向および移動状況は、降雨時の気象条件によつて変化するものであるから、気象条件の降雨特性におよぼす影響を考慮する意味において、各降雨の原因別に懸案区域との関係位置を考慮して、台風および低気圧はその中心の通過経路によつて細分し、また前線性のものは前線の位置、方向および移動状況によつて細分し、同じ分類に属するものを一群として解析する。

(2) **地形因子の決定** 地形因子として考えられる主要なものをあげると、つぎのとおりである。

1. **海拔標高 (Elevation)** : 山岳による空気上昇は降雨生成の重要な因子であつて、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越えると、再び減少することが確認されている⁹⁾。この標高による降雨量の変化を考慮する因子が Elevation であつて、雨量観測地点の海拔標高であらわす。

2. **地形起伏 (Rise)** : 山脈とか地形の凹凸によつて、気流が局地的に収束上昇して降雨分布を異にすることから、観測点付近における地形起伏による降雨量の変化を考慮する因子が Rise である。この因子は、観測点を中心としたある半径の円内における最高地点と観測点との標高差をもつてあらわされるが、この半径の大きさは、小規模の地形因子を考慮する意味で、支川の流入状況や山岳の走向など流域の地形変化の規模に応じて決定する。

3. **方位性 (Orientation)** : 降雨量は気流の吹きこんでくる方向に左右され、風上に向つて開けた谷は風下に向つて開けた谷より降雨量が大きい⁹⁾。こうした観測点付近の谷の向きを考慮する因子が Orientation であつて、5万分の1の地形図によつて谷の開けた方向を8方位にわけてあらわす。ただし二方向に開けているときは、下り勾配の方向とする。

4. **開放性 (Exposure)** : 前項が谷の開けた方向を示すのに対し、その大きさをあらわす因子が Exposure である。空気が開けたところから狭い谷間に吹きこむと、あたかも漏斗で水を注ぐように Funneling wind となつて上昇し、降雨量を局地的に変動させる⁹⁾。こうした観測点付近の空気の流通程度をあらわすために、観測点を中心とするある半径の円内において、観測点よりある一定の高さだけ高い方向を除いた残りの角度を「度」で示したものをを用いる。この円の半径と高低差は、流域における谷の入り具合や高低差など地形変化の規模を考慮して決定する。

5. **地帯性 (Zone)** : 前項までに定義されなかつた諸種の因子、風の影響および大規模な地形の影響など、相関に用いられなかつた因子の総合効果を考慮する因子であつて、降雨の地域的分布や主要山脈の走向などを考えて、各降雨群ごとに数階級にわけらる。

元来この方法は年間雨量や数カ月雨量のような長期降雨を対象として、米国で考察せられ^{5),8)}、わが国でも利根川や筑後川に適用されてかなりの成果をあげているが^{9),10)}、いずれも長期降雨に対するもので、地形因子として大規模な地形変化を考えている。たとえば、地形起伏の決定に用いる半径は米国で 5 mile、わが国で 5 km とし、

また開放性の決定に用いる半径および高低差は米国でそれぞれ 20 mile および 1 000 ft, わが国で 20 km および 300 m と大きくとつている。われわれはこの方法を各一連降雨の特性解析に適用するために、降雨をその原因によつて分類し、同じ原因によるものを一群として取り扱い、地形因子としては小規模な地形変化を考慮する方法を提案した。したがつて、地形起伏や開放性を決定する半径や高低差は、流域の地形変化の規模に応じ、長期降雨の場合に較べて非常に小さくとらねばならない。しかしながら、現在のところこうした小規模な地形因子のとり方に確固たる理論的基準があるわけではなく、またここで述べた地形因子のほか、斜面勾配や観測点付近の最高点の標高とその方向など考慮すべき因子の取捨選択をはじめとし、風向や風力など各種気象条件に関する因子の導入など、今後の研究にまつべき問題が少なくない。いずれにしても、ここに述べた方法を由良川上流部流域に適用した結果はかなり良好であつて、この方法がわが国山地における降雨特性の解析に大いに寄与するものと考えられる。

3. 本解析法の由良川上流部流域への適用

由良川上流部流域の水文資料を整理し、各降雨の原因を天気図から調べると、台風、低気圧および停滞前線によつて多量の雨が降つていることがわかつたので、ここではこの三種類の降雨について、それぞれの特徴を解析することにした。まず降雨を原因別に分けて、つぎのようにした。

(1) 台風では、本邦を迂廻するかまたは横断して日本海に抜けるものは降雨量が少ないので除外し、本邦に上陸後太平洋向うか、または本邦南岸沿いに進路をとるものを考え、東北東進するものをⅠ型、東北進するものをⅡ型とする。

(2) 低気圧では、その中心が九州西方海上から主として本流域の北部を通つて東進するものをⅠ型、中心が本邦沿いに太平洋上を東北進するものをⅡ型、その他のものをⅢ型とする。

(3) 停滞前線では、前線が紀伊半島沖を中心として北東から南西に延びているものをⅠ型、前線が本流域の南部にあつて本州を横断し東西方向に延びているものをⅡ型、前線が太平洋上にあつて東西に延びているものをⅢ型、前線が本邦上にあつて北西から南東に延びているものをⅣ型とする。

以上のように分類してそれぞれの降雨分布を調べたところ、各降雨型ごとに多雨域と少雨域が大体一致して類似した分布をすることがわかつた。

つぎに地形因子としては、以下のように考えた。

1. 海拔標高：由良川流域では高低差が 600 m 程度であつて、標高による降雨量の増加はわずかしが認められず、雨量観測所の標高が大体三つのグループにわかれることから、各観測所の標高を m 単位であらわして、300 m 以下、300~550 m および 550 m 以上をそれぞれ第Ⅰ群、第Ⅱ群および第Ⅲ群とした。

2. 地形起伏：本流域が非常に狭く、その地形が約 2 km の範囲ごとに変化することから、半径を 1 km にとつて、その円内の最高地点と観測点との高低差が 150 m 以下、150~260 m および 260 m 以上のものをそれぞれ第Ⅰ群、第Ⅱ群および第Ⅲ群とした。

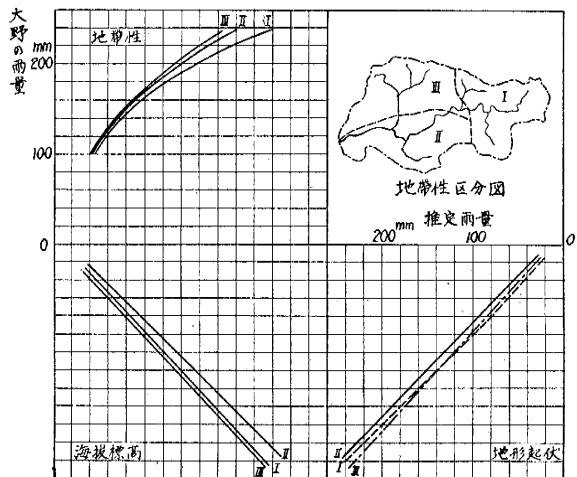
3. 方位性：観測点付近の谷の開けた方向を 5 万分の 1 の地形図からよみとつて、これを 8 方向にわけて示した。

4. 開放性：地形起伏の場合と同様に、半径を 1 km とし、高低差は谷における高低差を考慮して 100 m にとつて、100° 以下、100°~200° および 200° 以上をそれぞれ第Ⅰ群、第Ⅱ群および第Ⅲ群とした。

5. 地帯性：各降雨型ごとに降雨量の地理的分布を考慮して三階級にわけることにした。

以上のようにして、一つの降雨型に属する降雨回数が多いものについて、上に述べた地形因子のうちで最も有意と考えられるもの三つを試算的に選んで相関図を作製した。図-2 はその一例であつて、低気圧Ⅰ型の降雨に対する相関図を示したものである。この流域では大野雨量観測所はその位置や機能からみて基地観測所としての性格をもつているから、大野の雨量と流域内の任意点の雨

図-2 相関図の一例 (低気圧Ⅰ型)



量との相関を求めることとして、つぎのようにして図-2を作製した。すなわち、まず縦軸に大野の実測雨量をとり、横軸にその他の地点の実測雨量をとつて、地帯性をパラメーターとして示す。ついで大野の雨量と地帯性とから求まる推定雨量と実測雨量との関係を、海拔標高をパラメーターとして示す。さらに大野の雨量、地帯性および海拔標高から求めた推定雨量と実測雨量との関係を、地形起伏をパラメーターとして示す。最後の推定雨量を示す軸に実測雨量をとり、地形起伏および海拔標高の關係を用いて求めた推定雨量を大野の雨量に対してプロットして、地帯性の線を補正する。同様にして、海拔標高の線および地形起伏の線を補正する。こうした操作は、補正によるパラメーターの線の移動がなくなるまで繰り返すが、普通は2~3回の操作で十分である。

図-3は、以上のようにして求めた相関図による推定雨量と実測雨量とを比較した一例であるが、降雨の型がいずれの場合においても、相関図による推定雨量は実測雨量に較べて大体10%以内の差を生ずるにすぎず、われわれの解析法が十分実用的価値をもっていることがわかつた。

4. 流域平均雨量の算定

(1) 流域平均総雨量 流域平均総雨量を求めるには、一般に等雨量線法 (Isohyetal method) と加重法 (Thiessen method) のいずれかが用いられる。前者は、多数の観測所があつて流域の降雨特性が明らかな場合には、かなりの精度が期待され、最も合理的な方法とされているが、個人誤差が介入しやすく、その精度に信頼性が欠け、しかも作業が面倒である。後者は、比較的精度も高く、作業が簡単であつて、個人差の入らないことから、現在広く用いられている。ここでは、各種の原因による降雨について、さきに求めた相関図を用い、各地点の雨量を推定してから合理的に等雨量線を描いて、流域平均総雨量を算定した。ついで観測所の位置および数を種々に変化し、それぞれの場合について加重法で流域平均総雨量を算定した。すなわち、全流域にわたり均等に選んだ40カ所の補足観測所について、その地点の地形因子から上で求めた相関図を用いて雨量を推定し、実測雨量とをあわせて約60カ所(1カ所当りの流域面積は約6km²)の値を用いて等雨量線を描き、それから算定した流域平均総雨量を R_0 とした。ついで以下にかかづる五つの場合について、加重法で流域平均総雨量を求め、それぞれ R_1 , R_2 , R_3 , R_4 および R_5 とした。

- (1) すべての観測値 (15~23カ所) を用いる、……… R_1
- (2) 基地観測所 (4~6カ所) の記録だけを用いる、……… R_2
- (3) 本川および主要支川にできるだけ均等に12~14カ所の観測所を選び、その観測値を用いる、……… R_3
- (4) 本川沿いに5カ所、主要支川の流域(北部および南部の山岳部)に5ヶ所、合計10カ所の観測所をなるべく均等に選び、その観測値を用いる、……… R_4
- (5) 本川沿いに4カ所、主要支川の流域である北部および南部の山岳部に各2カ所、合計8カ所の観測所をなるべく均等に選び、その観測値を用いる、……… R_5

表-1は以上の各方法によつて求めた値を一括表示したものであり、表中の括弧内の数字は観測値の数を示すものであるが、これから以下のような事実がわかる。すなわち、 R_0 は R_1 より多少大きくなる傾向があるが、 R_1 に対する較差の平均は+2.1%であつて、降雨の原因にかかわらずほとんど一致する。このことは、雨量計密度が大きくて15~20km²につき1カ所というようにして、観測所を流域に均等に設置すると、加重法で求めた流域平均総雨量が等雨量線法で合理的に求めた値と大差のないことを示すものである。つぎに R_4 の R_1 に対する較差の範囲は-5.6~+4.8%、平均-2.1~+2.8%であるから、観測所が必ず主要支川の流域にあるようにし、全流域にわたり35km²に1カ所の割合で均等に設置すれば、降雨の原因にかかわらず、加重法で流域平均総雨量を求めた場合、較差は大体±5%の範囲で少し精度は劣るが、実用上差支えないといえよう。これらの結果は、菅谷博士が忠別川(流域面積250km²)の研究で¹¹⁾、加重法で正確に流域平均を推定できる雨量計の支配面積の限度として10~25km²、簡易法の限度として30km²をあげておられるのと比較して、非常に興味ある事実であつて、わが国河川の水文調査の基準として示唆に富むものと考えられる。

- (2) 流域平均時間雨量 単位図法や流出関数などを用いて流出解析を行う場合、その基本となるのは流域平

図-3 推定雨量と実測雨量との比較の一例
(低気圧I型)

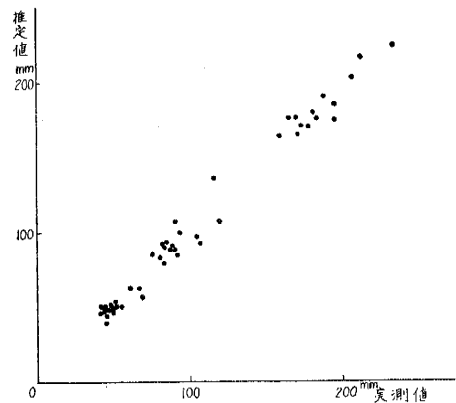


表-1 流域平均総雨量の比較

降雨種別	番号	観測値の数	R ₀ (mm)	R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	R ₃ (mm)	R ₄ (mm)	R ₅ (mm)	R ₁ に対する較差(%)*				
									R ₀	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
台風	1	22	122.2	120.0	123.4(6)	124.1(12)		127.3	+1.8	+2.8	+3.5		+6.0
	20	15		366.6	361.0(5)		362.1			-1.6		-1.2	
	34	18	153.8	149.1	141.9(4)	146.5(12)		146.7	+3.2	-4.9	-1.7		-1.7
	44	20		133.5	124.4(5)	133.2(12)				-6.7	-0.2		
停滞前線	4	21	139.9	139.7	136.1(6)	138.3(12)		138.6	+0.1	-2.6	-1.0		-0.8
	13	23	245.1	240.2	225.2(6)	239.7(14)	240.4	244.8	+2.0	-6.2	-0.2	+0.1	+1.9
	14	23		156.2	131.4(6)	149.7(14)	151.7	159.7		-15.9	-4.2	-3.1	+2.2
	16	23		63.2	62.9(6)	61.3(14)	62.2	71.1		-0.3	-2.9	-1.5	+12.6
	18	22		46.0	44.2(6)	45.2(14)	45.0	46.2		-3.9	-1.7	-2.2	+0.5
	37	19	100.7	105.0	98.2(5)	100.3(12)	99.2		+0.2	-6.5	-4.5	-5.6	
	46	19		100.4	108.0(6)	103.2(12)	104.6			+7.4	+2.8	+4.2	
	49	21	75.7	72.9	71.9(6)	72.0(13)	71.5		+3.8	-1.3	-1.2	-1.1	
低気圧	10	18	185.3	183.9	181.7(5)	181.3(12)	181.3	180.7	+0.8	-1.2	-1.3	-1.3	-1.7
	22	18	90.4	87.5	86.5(4)	86.6(12)	88.9	89.7	+3.3	-1.2	-1.0	+1.7	+2.6
	24	19	34.0	32.2	30.9(4)	33.6(12)	33.6	33.4	+5.6	-4.6	+4.5	+4.3	+3.7
	25	19	90.7	90.2	82.0(4)	89.5(12)	88.2	93.3	+0.6	-9.1	-0.6	+3.6	+3.5
	45	21		58.6	54.7(6)	58.2(12)				-6.7	-0.6		
	47	20		113.8	107.9(6)	110.7(13)	112.1			-5.2	-2.7	-1.3	
前線	15	22		49.7	46.6(5)	49.8(14)	46.8	49.0		-6.2	+0.3	-1.3	-1.3
	17	22		29.3	22.3(6)	29.7(14)	30.9	28.7		-27.3	+1.4	-2.0	-4.2
	28	20		73.4	76.6(4)	73.2(12)	76.8	78.1		+4.5	-0.2	+4.8	+6.6
	30	19		99.6	101.9(4)	97.5(12)	98.4	100.2		+2.6	-2.1	+0.8	+0.6
	48	22		111.1	105.2(6)	108.7(13)	110.2			-5.3	-2.3	-1.5	
	較差の範囲									+0.2 ~+5.6	-27.3 ~+7.4	-4.5 ~+4.5	-5.6 ~+4.8
較差の平均**									+2.1	-6.1 ~+4.3	-1.7 ~+2.5	-2.1 ~+2.8	-1.9 ~+4.8

* R₀に対する較差を求めるべきであるが、計算の便宜上 R₁に対する較差を求めておいた。

**+の較差と-の較差をそれぞれ平均した値を示す。

均時間雨量であつて、単位図の比例原理によれば、その流出量は降雨強度に比例して増減する。わが国では気象条件の変動が急激でしかも地形が複雑であるから、降雨の時間的地理的分布がいちじるしく変化し、慎重かつ正確に流域平均時間雨量を決定しなければならない。

流域平均総雨量 \bar{R} から各時間ごとの流域平均時間雨量 \bar{r}_i を求めるためには、従来から次式が用いられている。

$$\bar{r}_i = (\bar{R}/n) \sum_{i=1}^n (r_{it}/R_i) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、R_i は基地観測所 i における総雨量、r_{it} は同じく時間雨量、n は基地観測所の数であつて、(1) 式は降雨の地理的分布を考えずに、各基地観測所の時間雨量と総雨量との比を算術平均したものである。しかしながら、流出解析に必要なものは時間雨量の正確な流域平均値であるから、時間雨量の分布を考慮して、時間雨量を加重平均した次式による方が合理的である。

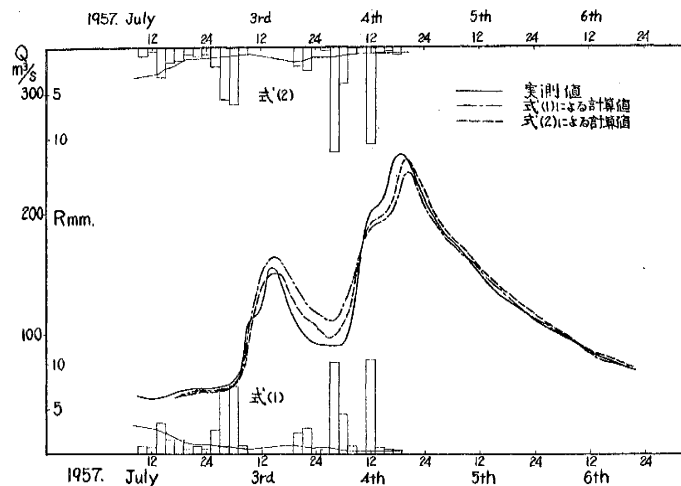
$$\bar{r}_i = (\bar{R}/\bar{R}') \sum_{i=1}^n (r_{it}a_i/A) \dots \dots \dots (2)$$

表-2 流域平均時間雨量の比較

降雨種別	番号	R (mm)	R'	式(1)によつて求めた時間雨量 (mm/hr)			式(2)によつて求めた時間雨量 (mm/hr)			ピーク流量 (m ³ /s)	単位図から推定したピーク 流量の変化 (m ³ /s)
				r ₁	r ₂	r ₃	r ₁	r ₂	r ₃		
台風	20	366.6	330.3	22.9	23.1	11.1	22.6	23.6	12.2	2380	+15
	34	149.1	126.5	10.4	19.2	11.7	10.6	19.1	12.4	290	+3
	44	133.5	126.6	8.2	7.7	6.8	8.2	7.8	6.7	348	0
停滞前線	46	100.4	106.5	5.3	12.9	8.1	5.4	12.9	8.0	245	+2
	49	72.9	73.9	3.3	4.8	2.7	2.9	4.3	2.5	173	-4
低気圧	22	87.5	87.7	4.1	7.8	4.2	3.3	6.7	5.2	欠	-11
	47	113.8	105.1	0	10.2	0	0	10.9	0	243	+9
前線	43	132.0	117.3	6.2	10.7	6.2	6.0	10.9	6.9	365	+3
	48	119.6	103.4	9.7	32.3	2.8	10.3	32.0	2.7	340	-1

ここに、 A は流域面積、 a_i は Thiessen 法で求めた基地観測所の支配面積、 \bar{R}' は基地観測所の観測値のみで求めた流域平均総雨量である。表-2 は由良川上流部流域における種々の原因の降雨について、(1) 式および (2) 式で求めた流域平均時間雨量を比較したものである。一般に流出曲線のピーク流量を支配するのは降雨のピーク付近であり、由良川における単位図が単位時間を2時間とついているので¹⁾、ここでは2時間雨量を考えて、降雨のピーク r_2 とその前後の r_1 および r_3 によつて比較した。その結果、(1) 式と (2) 式による時間雨量の差は、降雨の原因にかかわらず、最大 1.0 mm/hr の程度である。しかしながら、両式で求めた流域平均時間雨量に同じ単位図²⁾を適用してえられた流出曲線を比較すると、表-2 のようにピーク流量の差は大体 10 m³/s 前後であるが、図-4 に示した一例からも明らかのように、(2) 式を用いた方が流出曲線全体としての精度を向上させることができる。このことは、(2) 式を用いた方が (1) 式によるよりも合理的であるが、時間雨量として2時間の平均をとるような場合にはその差が扁平化されるため、基地観測所を 60~90 km² に1カ所の割合で設けておけば、(1) 式を用いてもかなり正確に流域平均時間雨量を求めうることを示すものである。

図-4 (1) 式および (2) 式から求められる時間雨量を用いて計算した流出曲線の比較



5. 結 言

降雨現象は非常に複雑であつて、その特性を適確に把握することはきわめて困難である。本論文では、一連降雨の降雨特性を解析するために、降雨をその原因によつて細分し、同じ原因によるものを一群として取り扱い、小規模な地形因子の影響を考慮して Co-axial method による解析法を述べ、この方法を由良川上流部流域に適用してかなりの成果をあげ、流域平均の総雨量および時間雨量を合理的に推定することができた。しかしながら、地形起伏や開放性などの地形因子の決定や考慮すべき地形因子の取捨選択などについては、十分な基準を与えるまでには至らなかつた。この問題はきわめて重要であつて、由良川以外の流域における降雨特性の調査検討と相まつて、さらに慎重な研究を続けたいと思つている。

最後に、本研究に対し特別の指導を賜つた京大石原藤次郎教授、計算および製図に全面的な協力をされた山崎諒および梅田貞夫の両君ならびに資金を援助された京都府土木部に対し、謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎, 田中要三, 金丸昭治: わが国における単位図の特性について, 土木学会誌, 第 41 卷, 第 3 号, 昭.31.3, pp. 102~107.
- 2) 石原藤次郎, 金丸昭治: 降雨条件の変動による単位図の変化について, 土木学会論文集, 第 32 号, 昭.31.3, pp. 50~56.
- 3) 石原藤次郎, 金丸昭治, 中川博次: わが国河川の総合単位図の研究, 京大防災研究所創立 5 周年記念論文集, 昭.31.11, pp. 181~190.
- 4) 菅谷重二: 山地流域における夏期の降雨量分布について, 北海道土木部河川課, 水害の総合的研究, 第 2 編, 昭.25.3, pp. 15~54.
- 5) J. I. Burns: Small-Scale Topographic Effects on Precipitation in San Dimas Experimental Forest, Trans. AGU, Vol. 34, 1953, pp. 761~768.
- 6) J. Smallshaw: Some Precipitation-Altitude Studies of the Tennessee Valley Authority, Trans. AGU, Vol. 34, 1953, pp. 583~588.
- 7) R. K. Linsley, M. A. Kohler and J. L. H. Paulhus: Applied Hydrology, McGraw-Hill Co., Inc., New York, 1949, pp. 643~655.
- 8) W. C. Spreen: A Determination of the Effect of Topography upon Precipitation, Trans. AGU, Vol. 28, 1947, pp. 285~290.
- 9) 中央気象台統計課: 各地の降水量を地理的因子のみからグラフで推定する方法, 電力気象連絡会彙報, 2nd Ser., Vol. 3, 1954, pp. 141~153.
- 10) 総理府資源調査会事務局: 筑後川流域面積雨量調査, 資源調査会資料, 第 43 号, 昭.30.3
- 11) 菅谷重二: 流域内の総雨量の算定法と雨量計の配置密度について, 北海道土木部河川課, 水害の総合的研究, 第 2 編, 昭.25.3, pp. 143~159. (昭. 33. 5. 2)