

算術平均法による面積平均雨量の推定誤差*

安富 裕二**

要 旨

流域内の面積平均雨量の誤差を見積もるために、各地点の雨量を確率変数として取り扱い、流域内の地点間の雨量相関係数の平均値を用いる誤差公式を導いた。

利根川、荒川流域内のアメダス観測地点間の相関係数の分布と雨量の変動係数を調べ、上で導いた誤差公式を適用して算術平均法による面積平均雨量の推定誤差を見積もった。それによると日雨量 30 mm 以上の面積平均雨量の誤差は八斗島集水域 (流域面積 $S=5114 \text{ km}^2$, 観測点数 $n=15$) で 16%, 治水橋集水域 ($S=2021 \text{ km}^2$, $n=10$) で 9% 以内であることがわかった。

1. はじめに

面積平均雨量を求める方法を大別すると、(1) 算術平均法と (2) 加重平均法の 2 つとなる。加重平均法には重味の決め方によってティーセン法 (重味を観測所の地理的位置によって幾何学的に定める)、等雨量線法 (等雨量線に囲まれる面積を求める)、格子法 (格子点の雨量を適当な方法で補間して求める) 等がある。

これらの面積平均雨量の算出法の誤差の比較は川畑著「水文気象学」(1960) に詳述されている。主な成果としてひと雨または日雨量についてみると、(1) 観測点が密に配置されていれば種々の算出法に差はない、(2) 誤差を 10% 程度におさえるには 70 km^2 当たり 1 点の観測点が必要、(3) 誤差は雨量に比例し観測点密度に指数的に反比例する、(4) 粗い密度 ($180 \text{ km}^2/1$ 個) ではティーセン法が精度がよい、等が挙げられる。この結果は流域面積 1000 km^2 以下のものについてはあるが、観測所密度に着目して現在の地域気象観測網 (AMeDAS) の観測所密度に当てはめると、日又はひと雨の面積雨量には 25% 以上の誤差を含むことになる。

また比較的精度がよいとされているティーセン法には、欠測がある度に欠測点の値を他の方法で推定する

か、新たに各観測点の重味を決め直すという不便さがある。さらに、雨の降り方は地形や気象学的条件で決まるのに対し、同法では各観測点の地理的位置によって幾何学的に重味が定まるという点にも疑問がある。

一方、橋本・佐藤 (1974) は、標本論的方法を適用して流域面積、観測点数と面積雨量の誤差との関係を求めた。これを現在の AMeDAS 観測網で求めた面積雨量に適用すると、誤差は約 16% である。この誤差は、各観測所同士が全く相関を持たないと仮定した場合のものであり、観測所同士の相関の有無を加味するとこの誤差は幾分小さく見積もることができると思われる。

そこで、菅原 (1976) の『面積雨量の求め方についての数学的考察』を基に、現業的には取り扱いの便利な算術平均法について、観測点間の相関を加味した誤差の見積もりを行った。

2. 面積平均雨量の推定誤差

以下しばらくの間は菅原の手法に従って推定誤差の見積もりを行う。

流域 D 内の任意の点 P (座標を (x, y) とする) における雨量を確率変数と考え $X(x, y)$ または、 $X(P)$ と表す。ここで 2 次元空間上の定常性、つまり雨の降り方が確率的にみて、流域内のすべての地点で同一であると仮定すれば、平均 μ と分散 σ^2 はすべての地点で等しくなる。期待値を E で表すと、

$$E(X(x, y)) = \mu, E(X(x, y) - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (1)$$

また 2 つの点 P, P' の雨量の相関関係は座標のとおり

* Errors in the estimation of the mean areal rainfall depth with the arithmetical mean method.

** Yuji Yasutomi, 気象大学校 (前 気象庁予報部予報課)。

——1983年 1月18日受領——

——1983年 4月25日受理——

方によらず、2地点間の距離 $\overline{PP'}$ によって定まるとする。相関係数を $\rho(\overline{PP'})$ とすると、

$$E(X(P)-\mu)(X(P')-\mu) = \sigma^2 \rho(\overline{PP'}) \quad (2)$$

面積平均雨量 X_M は、確率変数 $X(x,y)$ を与えられた領域 D 上で積分しその面積 S で割ったものである。

$$X_M = \frac{\iint_D X(x,y) dx dy}{\iint_D 1 dx dy} \quad (3)$$

いま、雨量観測点 $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$ (P_i は流域 D 内にあるとは限らない) として、加重平均による面積平均雨量を求め \tilde{X} とする。

$$\tilde{X} = \sum_{i=1}^n \alpha_i X(P_i) \quad (4)$$

但し α_i は点 P_i における重味である。推定子 \tilde{X} が X_M の不偏推定子である条件は $E(\tilde{X}) = E(X_M)$ から、

$$E(\tilde{X}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i E(X(P_i)) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \mu = \mu \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

$$E(X_M) = \frac{\iint_D E(X(x,y)) dx dy}{S} = \frac{\iint_D \mu dx dy}{S} = \mu$$

よって

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (5)$$

である。

推定子 \tilde{X} の評価を推定誤差 $X_M - \tilde{X}$ の2乗の期待値によって行うこととする。

$$\sigma_E^2 = E(X_M - \tilde{X})^2 = E((X_M - \mu) - (\tilde{X} - \mu))^2$$

$$= E(X_M - \mu)^2 - 2E(X_M - \mu)(\tilde{X} - \mu) + E(\tilde{X} - \mu)^2$$

第1項は確率変数 X_M の分散、第2項は X_M と \tilde{X} との相関関係、第3項は \tilde{X} の分散を表す。

(1)~(4)式を用いて上式は次式のように表すことができる。

$$\sigma_E^2 = \sigma^2 \left[\frac{1}{S^2} \iint_D \iint_D \rho(\overline{PP'}) dx dy dx' dy' - \frac{2}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i \iint_D \rho(\overline{P_i P}) dx dy + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j \rho(\overline{P_i P_j}) \right] \quad (6)$$

ここで2地点間の雨量が独立な場合を考えてみると、 $P \neq P'$ のとき $\rho(\overline{PP'}) = 0$ となるので、(6)式は第1、2項が0となり、

$$\sigma_E^2 = \sigma^2 \sum_{i=1}^n \alpha_i^2$$

となり算術平均法を用いると $\alpha_i = 1/n$ なので $\sigma_E^2 = \sigma^2/n$ となりランダムサンプリングの際の推定誤差と一

致する。一方2地点間の雨量の相関が極めてよく、例えば $\rho(\overline{PP'}) = 1$ とすると(6)式は0となる。つまり、 \tilde{X} の推定誤差は0となり、面積平均雨量は1地点の雨量で推定可能となる。

菅原は(6)式の極小値を(5)の条件下で求めることによって、適当な相関関係を仮定した場合の最適な加重 $\alpha_i (i=1, 2, \dots, n)$ を決定した。ここまでは菅原(1976)の論文の紹介である。

以下、(6)式をさらに簡潔にして算術平均法 ($\alpha_i = 1/n$) の場合の推定誤差の見積もりを行う。

流域 D 内の相関係数 $\rho(\overline{PP'})$ の平均値を $\bar{\rho}_0$ 、雨量観測点 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$ と流域内の点 P との相関係数 $\rho(\overline{P_i P})$ の平均値を $\bar{\rho}_0'$ 、雨量観測点 P_i と $P_j (i, j$ 共 $1, 2, \dots, n)$ 間の相関係数 $\rho(\overline{P_i P_j})$ の平均を $\bar{\rho}$ とおく。これらの平均値を用いると(6)式は

$$\sigma_E^2 = \sigma^2 [\bar{\rho}_0 - 2\bar{\rho}_0' + \bar{\rho}]$$

$$= \sigma^2 [(\bar{\rho}_0 - \bar{\rho}_0') + (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0')] \quad (7)$$

と表すことができる。流域内の雨量相関をみると逆相関となるのは極めてまれで、それも全域の雨量が多い時に極く限られた地点にのみ現れる。従って上で定義した $\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_0'$ 、および $\bar{\rho}$ は正の値として取り扱って差し支えない。さらに $\bar{\rho}$ は、全域で相関が1のとき1、独立なとき $1/n$ なので、

$$\frac{1}{n} \leq \bar{\rho} \leq 1.0$$

であり、 $\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_0'$ も共に1.0より小さな値である。

ここで流域 D が半径 R の円形であるとして、観測点 P_i と D 内の任意の点 P との雨量相関係数を次式で与えるとする。ただし距離 $\overline{P_i P} = r$ 、相関係数の減衰パラメータを k とする(第1図参照)。

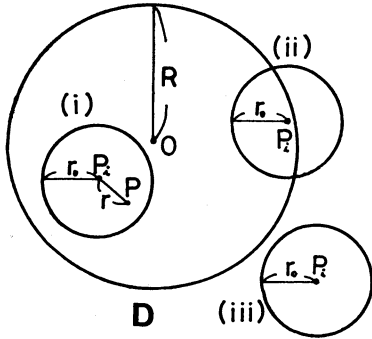
$$\left. \begin{aligned} \rho(\overline{P_i P}) &= \exp(-kr) & (0 \leq r \leq r_0) \\ \rho(\overline{P_i P}) &= \exp(-kr_0) & (r_0 \leq r) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8)式の相関係数を観測点 P_i を固定して流域 D について積分し平均値を求め、 ρ_{oi}' とする

$$\rho_{oi}' = \frac{\iint_D \rho(\overline{P_i P}) dx dy}{S} \quad (9)$$

(9)式の値は第1図に示したように半径 r_0 の小領域の位置が流域 D の(i)内部、(ii)周辺部および(iii)外部にある場合の3通りに分けることができる。このうち(ii)周辺部にある場合は(i)内部と(iii)外部の中間の値を示すことは明らかなので、(i)と(iii)の2つについて考えることにする。

(i)半径 r_0 の小領域(面積 s)が流域 D 内に含まれている場合 ($\overline{P_i O} \leq R - r_0$)



第1図 流域 D と半径 r_0 の小領域との位置関係。
 (i) 小領域が D の内部にある
 (ii) 小領域が D の周辺部にある
 (iii) 小領域が D の外部にある

$$\rho_{oi}' = \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{r_0} \exp(-kr) r dr d\theta + \exp(-kr_0)(S-s) \right\} / S = \frac{1}{R^2} \left\{ \frac{2}{k^2} + \exp(-kr_0) \left(R^2 - r_0^2 - \frac{2}{k} (r_0 + \frac{1}{k}) \right) \right\} \quad (10)$$

(iii) 小領域が流域 D の外部にある場合 ($R+r_0 \leq \bar{P}_i O$)
 $\rho_{oi}' = \exp(-kr_0) \quad (11)$

(8), (10), (11) 式で $r_0=1$ として ρ_{oi}' の最大値は流域 D の中央に観測点 P_i があって $R=1$ のとき得られる。

$$\rho_{oi}'_{\max} = \frac{2}{k} \left\{ \frac{1}{k} - \exp(-k) \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right\} \quad (12)$$

また小領域 D が流域の外部にある時に最小値となる。

$$\rho_{oi}'_{\min} = \exp(-k) \quad (13)$$

第2図に ρ_{oi}' の最大値、最小値およびその差を実線で、また小領域が内部にあって $R=2$ とした時の値を横軸に減衰パラメータ k をとって示した。

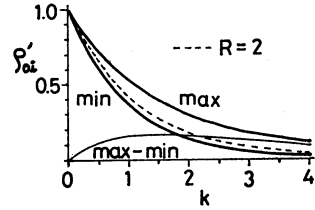
(7) 式で導入した $\bar{\rho}_0'$ は第2図に示した最大値と最小値の間に存在する。また観測点 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$ として極端に相関のよいもの (又は悪いもの) ばかりを選ぶ等の偏りがない限り、 $\bar{\rho}_0' \approx \bar{\rho}_0$ となることは明らかである。従って (7) 式は

$$\sigma_B^2 \approx \sigma^2 (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0') \quad (14)$$

と表すことができる。 $\bar{\rho}_0'$ としては第2図の値を用い、 $\bar{\rho}$ としては実際の雨量相関係数の平均値を用いることによって、面積平均雨量の誤差を見積もることができる。

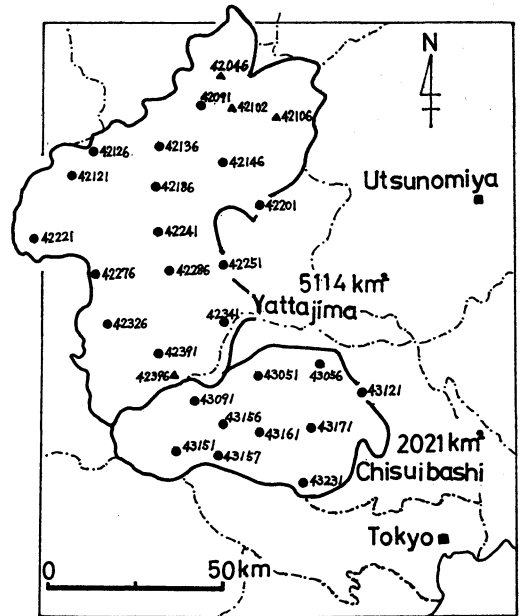
3. 利根川・荒川流域における面積平均雨量の誤差の見積もり

利根川流域として本川上流域の八斗島集水域 (流域面



第2図 観測点 P_i と流域 D 内の各点との相関係数の平均値 ρ_{oi}' の減衰パラメータ k による変化。

(注) max; ρ_{oi}' の最大値
 min; ρ_{oi}' の最小値
 max-min; 最大値と最小値の差
 破線; $r_0=1, R=2$ とした時、小流域が D の内部にある場合の ρ_{oi}' の値



第3図 八斗島集水域と治水橋集水域内のアメダス観測点と集水域の面積。

(注) 数値は観測点番号
 ▲印は資料期間が短いため除外した地点

積 $S=5114 \text{ km}^2$, 観測点数 $n=15$) を、荒川流域として治水橋集水域 ($S=2021 \text{ km}^2, n=10$) を例にとって前項で導いた誤差公式を適用してみた。

第3図に集水域内の観測点の配置 (数値は観測点番号), および流域面積を示した。調査対象期間は1975~1982年の5~9月とし、八斗島集水域内に▲印で示した4地点はデータ取得期間が短いので除外した。以下の調

第1表 集水区内観測点間の日雨量相関係数の平均値、最大値および最小値。

(i) 八斗島集水域

地点名 地点番号	地点日雨量 1 mm 以上	面積平均雨量 (日量)					
		10 mm 以上	20 mm 以上	30 mm 以上	40 mm 以上	50 mm 以上	
およそのデータ数	400	200	80	40	20	10	
水 上 42091	平均	0.601	0.465	0.514	0.516	0.484	0.407
	最大	0.769	0.715	0.757	0.767	0.785	0.803
	最小	0.506	0.267	0.234	0.374	0.286*	0.087*
草 津 42121	平均	0.725	0.670	0.672	0.686	0.686	0.700
	最大	0.904	0.912	0.940	0.943	0.933	0.925
	最小	0.602	0.461	0.457	0.404	0.351*	0.228*
八間山 42126	平均	0.742	0.687	0.713	0.720	0.719	0.729
	最大	0.904	0.912	0.940	0.943	0.933	0.951
	最小	0.631	0.495	0.535	0.489	0.430*	0.353*
雨見山 42136	平均	0.737	0.653	0.742	0.768	0.760	0.762
	最大	0.841	0.797	0.878	0.898	0.897	0.896
	最小	0.631	0.478	0.505	0.694	0.683	0.638
沼 田 42146	平均	0.632	0.534	0.583	0.593	0.552	0.588
	最大	0.744	0.635	0.750	0.767	0.785	0.865
	最小	0.517	0.366	0.321	0.375	0.248*	0.198*
中之条 42186	平均	0.721	0.666	0.679	0.687	0.670	0.651
	最大	0.852	0.834	0.874	0.882	0.914	0.951
	最小	0.573	0.465	0.461	0.416	0.333*	0.258*
赤城山 42201	平均	0.707	0.647	0.665	0.695	0.647	0.686
	最大	0.763	0.742	0.775	0.787	0.750	0.835
	最小	0.598	0.464	0.472	0.553	0.511	0.446*
田 代 42221	平均	0.692	0.620	0.593	0.627	0.637	0.754
	最大	0.741	0.712	0.710	0.751	0.776	0.876
	最小	0.644	0.531	0.407	0.537	0.504	0.558
榛 名 42241	平均	0.721	0.683	0.696	0.714	0.675	0.647
	最大	0.873	0.883	0.930	0.950	0.947	0.965
	最小	0.509	0.378	0.383	0.374	0.248*	0.087*
前 橋 42251	平均	0.727	0.674	0.700	0.715	0.688	0.770
	最大	0.832	0.836	0.884	0.889	0.869	0.946
	最小	0.606	0.458	0.542	0.568	0.568	0.567
一の字山 42276	平均	0.640	0.543	0.506	0.714	0.727	0.768
	最大	0.697	0.663	0.625	0.827	0.895	0.952
	最小	0.506	0.267	0.234	0.431	0.376*	0.338*
上里見 42286	平均	0.723	0.682	0.729	0.732	0.708	0.704
	最大	0.873	0.883	0.930	0.950	0.947	0.965
	最小	0.512	0.387	0.450	0.404	0.326*	0.209*

(第1表(i)つづき)

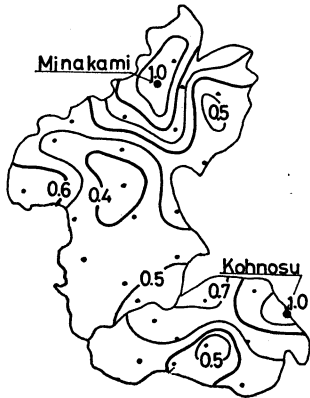
地点名 地点番号	地点日雨量 1 mm 以上	面積平均雨量 (日量)					
		10 mm 以上	20 mm 以上	30 mm 以上	40 mm 以上	50 mm 以上	
西野牧 42326	平均	0.719	0.674	0.676	0.687	0.691	0.689
	最大	0.849	0.857	0.915	0.941	0.941	0.957
	最小	0.586	0.427	0.490	0.466	0.494	0.436*
藤 岡 42341	平均	0.724	0.686	0.718	0.733	0.725	0.746
	最大	0.835	0.837	0.885	0.889	0.895	0.952
	最小	0.514	0.402	0.458	0.407	0.380*	0.321*
稻倉山 42391	平均	0.705	0.662	0.719	0.728	0.725	0.717
	最大	0.849	0.857	0.915	0.941	0.941	0.957
	最小	0.532	0.396	0.487	0.462	0.482	0.371*
\bar{p}	0.721	0.660	0.683	0.709	0.695	0.709	

(ii) 治水橋集水域

地点名 地点番号	地点日雨量 1 mm 以上	面積平均雨量 (日量)					
		10 mm 以上	20 mm 以上	30 mm 以上	40 mm 以上	50 mm 以上	
およそのデータ数	300	150	70	30	20	10	
寄 居 43051	平均	0.849	0.823	0.824	0.820	0.823	0.818
	最大	0.916	0.909	0.911	0.916	0.946	0.942
	最小	0.723	0.677	0.649	0.637	0.589	0.548*
熊 谷 43056	平均	0.779	0.719	0.716	0.705	0.700	0.716
	最大	0.841	0.793	0.841	0.871	0.892	0.919
	最小	0.724	0.604	0.584	0.527	0.489	0.533*
上吉田 43091	平均	0.851	0.818	0.841	0.844	0.854	0.847
	最大	0.944	0.943	0.957	0.955	0.956	0.954
	最小	0.710	0.654	0.702	0.717	0.696	0.672
鴻 巣 43121	平均	0.729	0.667	0.673	0.669	0.660	0.652
	最大	0.841	0.793	0.841	0.871	0.892	0.919
	最小	0.679	0.566	0.523	0.483	0.437	0.426*
三 峰 43151	平均	0.827	0.779	0.812	0.817	0.832	0.833
	最大	0.939	0.942	0.953	0.953	0.953	0.952
	最小	0.684	0.593	0.619	0.622	0.597	0.602
秩 父 43156	平均	0.870	0.845	0.857	0.861	0.867	0.871
	最大	0.944	0.943	0.957	0.955	0.956	0.954
	最小	0.729	0.683	0.691	0.713	0.676	0.674
浦 山 43157	平均	0.842	0.822	0.825	0.817	0.808	0.791
	最大	0.943	0.942	0.953	0.963	0.959	0.959
	最小	0.679	0.622	0.610	0.597	0.515	0.484*

(第1表(ii)つづき)

地点名 地点番号	地点日雨量 1 mm 以上	面積平均雨量 (日量)					
		10 mm 以上	20 mm 以上	30 mm 以上	40 mm 以上	50 mm 以上	
刈場坂 43161	平均	0.842	0.784	0.796	0.782	0.780	0.779
	最大	0.924	0.922	0.950	0.963	0.959	0.959
	最小	0.686	0.566	0.523	0.483	0.437	0.426*
鳩山 43171	平均	0.840	0.809	0.827	0.829	0.850	0.836
	最大	0.892	0.882	0.889	0.923	0.967	0.970
	最小	0.771	0.728	0.747	0.746	0.772	0.754
飯能 43231	平均	0.778	0.727	0.731	0.729	0.829	0.839
	最大	0.880	0.861	0.880	0.923	0.967	0.970
	最小	0.714	0.654	0.674	0.624	0.762	0.737
$\bar{\rho}$	0.839	0.801	0.811	0.809	0.820	0.818	



第4図 水上(八斗島集水域)と鴻巣(治水橋集水域)の各集水域内の相関係数の分布。

(注) 等値線は0.1きざみ

査はすべて日降水量を対象とし、誤差の見積りは、洪水予報の対象となる日降水量 30 mm 以上のものについて行った。

第1表は集水域内の地点間の相関係数について、(1) 平均値、(2) 最大値、(3) 最小値を、双方の観測点が日降水量 1 mm 以上の場合と、面積平均雨量(算術平均法による)が 10, 20, …, 50 mm 以上となった場合について示した。最小値欄に*印のあるものは危険率 10% で相関が有意でないことを表す。また表の下端に示した $\bar{\rho}$ は前項 2 で導入した $\rho(\bar{P}_i, \bar{P}_j)$ の平均値であり、観測点 P_i における観測点 P_j ($j \neq i$ なる $n-1$ 個) との相関係数の平均値 $\bar{\rho}_i$ (第1表の地点毎の平均欄の値)

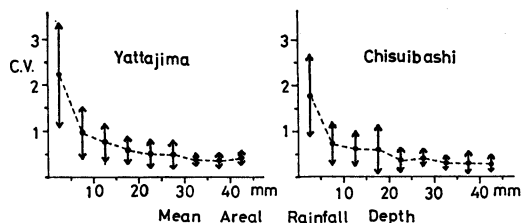
とは次の関係がある。

$$\bar{\rho} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j \rho(\bar{P}_i, \bar{P}_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 + \bar{\rho}_i (n-1)) \quad (15)$$

両集水域に共通して言えることは、面積平均雨量が増すにつれて相関係数の最大値と最小値の差が大きくなっていくことである。これには、資料数の減少に伴う相関係数の信頼区間の増大の影響も含まれていると思うが、雨の降り方の面から言えば流域に多量の雨をもたらす気象条件は大体決まっており、その時は降雨分布がいつでも似たような形になるためであろう。

第1表から、全体を通じて相関係数の平均値が小さい地点として八斗島集水域から水上、治水橋集水域から鴻巣を選び、面積平均雨量 30 mm 以上の場合の相関係数の分布を第4図に示した。この図から明らかなように観測点を中心にしてある範囲内では相関係数が急激に減少するがある程度離れると相関係数はほぼ一様となっている。つまり前項 2 の (8) 式の仮定はほぼ妥当であることがわかる。

次に相関係数の減衰パラメータ k と、流域の相対的な広さを示す R の大きさを見積もる。第4図から $r \geq 1$ での相関係数は八斗島集水域で約 0.5、治水橋集水域で約 0.7 である。従って (8) 式からそれぞれの集水域で $k = 0.69$, $k = 0.36$ が得られる。また R は両集水域で $R \approx 2$ とみることができると (10) 式からそれぞれ $\rho_{oi}' = 0.54$, 0.72 となる。 k のこれらの値に対し ρ_{oi}' の最大値と最小値の差は 0.14 および 0.09 であり、 $\bar{\rho}_{oi}' = \rho_{oi}'$ とした場合の見積もり誤差は高々 0.1 である。



第5図 面積平均雨量(日量)5 mm 毎の階級別変動係数(C.V.)の変化図。

一方第1表から面積平均雨量30 mm 以上の場合の $\bar{\rho}$ はそれぞれ0.709, 0.809なので, (14)式から八斗島集水域 σ_{EY}^2 , 治水橋集水域 σ_{EC}^2 では

$$\sigma_{EY}^2 = 0.17\sigma^2 \quad (16.1)$$

$$\sigma_{EC}^2 = 0.09\sigma^2 \quad (16.2)$$

となる。

次に集水域内の雨量の分散 σ^2 の見積もりが問題となる。このために観測点間の雨量の変動を用いてその大きさを推定する。

第5図に面積平均雨量の5 mm 毎(日量)の階級別変動係数(雨量の標準偏差/面積平均雨量)を示した。図中矢印で示した幅は, 変動係数(C.V.)の変化幅(C.V.の標準偏差で表す)である。図を見て明らかのように変動係数は雨量が増すにつれて急激に減少し, 大体0.3~0.5の範囲に入る。つまり, 雨量が少ない時は各地点でバラバラな降り方をしているが, 流域に多量の降水をもたらすのは, かなり様な降り方をしている時であるということが, この点からも明らかである。

第5図から面積平均雨量30 mm 以上の場合の変動係数を讀むと八斗島集水域で0.4, 治水橋集水域で0.3である。従って各々の集水域での σ の見積もり値はそれぞれ12 mm, 9 mm となる。

従って面積平均雨量の推定誤差は(16)式から,

$$\sigma_{EY} = \sqrt{0.17} \times 12 = 4.9(\text{mm}) \quad (17.1)$$

$$\sigma_{EC} = \sqrt{0.09} \times 9 = 2.7(\text{mm}) \quad (17.2)$$

となり, 誤差を面積平均雨量に対する比率で示すとそれぞれの集水域で16%, 9%と見積もることができる。

4. まとめ

流域の面積平均雨量の誤差を推定するには, 真の面積雨量は求まらないので, 下流で観測される流量等との関連において検討するのが順当であるが, これにも流出モデルの仮定等いくつかの制約条件が入るのは避けられな

い。このため雨の降り方——雨量相関の面からのアプローチを試みた。この結果は菅原の論文に負うところが大きい。

ところで誤差公式((14)式)を導く際の『二次元空間上の定常性』の仮定は実際の降雨についてはかなり厳しい仮定であり, 菅原もこの点に関しては, 現実に適用することについて否定的な見解を述べている。しかし, 降雨を決定する条件には気象学的要因, 地形的要因等が考えられるが, ひと雨毎にみると個々の要因が降雨に影響する度合は異なり, 雨量を確率変数として取り扱うことに異論はないであろう。今後は, さらに前述の仮定をはずして実際の降雨に則した誤差の推定を行うという課題が残されている。

今回得られた結果を橋本・佐藤の結果と比べると, 八斗島集水域では同じであり, 治水橋集水域では今回の見積もりの方が誤差が小さい。これは明らかに地点間の相関の有無によるちがいでであると解釈される。面積平均雨量を求めるには加重平均法は一見合理的ではあるが, 重味の決定方法の如何によっては誤差の評価を困難にするおそれがある。一方, 算術平均法は取り扱いの簡易さからかえって軽んじられるむきもあるが, 今回の誤差の評価からみて十分に実用的であると思われる。これは一つには, AMeDAS 観測点が流域をほぼ格子状に覆っていることが助けとなっているように思われる。しかし AMeDAS の雨量観測点は約17 km メッシュに配置されているので一観測所で監視すべき範囲は250 km² 以上にも及ぶ。このため, 大雨時の面積平均雨量の算出には十分機能を果たすが, 細かな水文学的調査を行うには, もっと細かな観測網を配置する必要があるといえる。

謝辞

本調査を遂行するに当たり, 終始適切な御助言を頂いた気象庁予報課 新井豊治予報官, 保科正男子予報官および, 御校閲頂いた前気象庁図書資料管理室長 篠原武次氏に謝意を表します。

文献

- 橋本 健・佐藤一郎, 1974: 面積雨量の精度と雨量観測所数, 土木技術資料, 16, 631-637.
川畑幸夫, 1960: 水文気象学, 応用気象学講座第1巻, 地人書館, 57-80.
菅原正巳, 1976: 面積雨量の求め方についての数学的考察, 水利科学, 20, (通算112号), 23-48.