

滋賀県降雨強度式の検証について

渡部 博嗣¹・原田 正彦²

¹滋賀県 土木交通部 流域政策局 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1-1)

²滋賀県 土木交通部 流域政策局 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1-1)

「滋賀県降雨強度式」は昭和43年6月に策定され、河川計画等に幅広く使用されてきた。平成7年3月に一部が改定されたが、その後見直しが行われていない。今回、最新の雨量観測資料を用いて確率雨量の整理を行い、現行の降雨強度式の見直しの必要性について検討を行った。

キーワード 滋賀県降雨強度式、水文統計、極値理論、確率雨量、地域特性

1. はじめに

近年、全国各地で甚大な水害が起こっており、滋賀県でも平成25年(2013年)9月の台風18号、平成29年(2017年)8月の台風5号、10月の台風21号による水害などは記憶に新しいところである。今後さらなる集中豪雨等の増加により水害の頻発・激甚化が懸念されている。

これに対し河川整備など治水対策を着実に進めていくことが必要であるが、河川の計画規模を検討するにあたって、外力の基本条件となる“将来発生するであろう降雨”は自然現象であり不確実性が高いことから、水文統計学的に地域の降雨特性を評価し、計画規模に相当する確率的な降雨量を合理的に設定することが必要である。

地域の降雨特性を表現するため、各都道府県で「降雨強度式」が作成されている。滋賀県でも「滋賀県降雨強度式(昭和43年6月策定¹⁾、平成7年3月一部改定²⁾」が作成されており、河川計画等の基礎として幅広く利用されている。

しかし、現行の滋賀県降雨強度式は、平成7年の改定後、20年以上見直しや具体的な検証作業が行われていない。今回、新たな観測資料を用いた検証を行うとともに、現状の課題等について報告を行う。

2. 滋賀県降雨強度式について

(1) 降雨強度式について

降雨強度式(降雨強度曲線)は、対象とする雨が降り続く時間(降雨継続時間:T)における平均的な雨の強さ(平均降雨強度:r)を表現した関係式である。降雨強度式は各都道府県ごとに、主に下記の式(A)(Talbot型、君島型等)、式(B)(Sherman型)のいずれかの式形を用いて作成されている³⁾。

$$r = \frac{a}{T^n \pm b} \dots (A), \quad r = \frac{a}{T^n} \dots (B)$$

※:r:平均降雨強度[mm/h], T:降雨継続時間[min], a,b,n:定数

想定する雨の強さは、地域、発生頻度(発生確率)によって変わる。このため、対象とする地域における過去の降雨資料を基礎資料として、水文統計学的手法により確率分布を考慮し、発生確率に対応する「確率雨量(確率降雨強度)」を算出したのち、確率ごとの降雨強度式を作成している。

たとえば、滋賀県降雨強度式においては、発生確率が1/10(10年確率)の場合、10年確率の降雨強度式を用いると、降雨継続時間60分で平均降雨強度は約50mm/hとなる。

降雨強度式が用いられる代表的な場面は、「ラショナル法(いわゆる合理式)」による計画高水流量の算定である。流域面積が比較的小さくダム等の洪水調節施設計画のない中小河川において、ある地点における計画高水流量Qは下記の式(C)で示す合理式を用いることが一般的である。

$$Q = \frac{1}{3.6} \times f \times r \times A \dots (C)$$

※:Q:計画高水流量[m³/s], f:流出係数, A:流域面積[km²]
r:平均降雨強度[mm/h]

降雨強度式により、平均降雨強度rは、洪水到達時間T(流域の最上端から対象地点までの到達時間)によって定まり、流域の降雨特性、発生確率を反映した計画高水流量を求めることができる。

降雨強度式は、河川計画以外にも、調整池や道路排水など構造物の設計のほか、氾濫解析(例:地先の安全度マップ)などにも幅広く利用されており、水工計画上重要な役割を持っているといえる。しかし、気象状況の変化に伴い、降雨強度式的前提となる雨の強さ、発生頻度等といった降雨特性は、「地域」「時点」によって姿を変えるものである。このため、降雨強度式が「その地域」の「その時点」での降雨特性を適切に表現できてい

るかという点について常に留意することが必要である。

(2) 滋賀県降雨強度式について

滋賀県の降雨強度式は昭和43年6月に「滋賀県降雨強度式」として策定された。その後、初版の設計便覧(案)河川編の作成にあたり、新しい雨量資料を盛り込んで検証がされ、平成7年3月に一部が改訂されている(10年以下の確率年の小さい降雨強度式の変更)。

滋賀県降雨強度式は、洪水到達時間(降雨継続時間)T [min]に対応する降雨強度r [mm/hr]について、以下の式(D)を基本型として、確率年ごとに定数a,bを定めた曲線形の関係式となっている。

$$r = \frac{a}{\sqrt{T - b}} \quad \dots (D)$$

※r:平均降雨強度[mm/h], T:降雨継続時間[min], a,b:定数

表1 滋賀県降雨強度式の定数

確率年	定数 a	定数b	T [min]に対応する 平均降雨強度 r [mm/h] (降雨量 [mm])				
			10min	60min	180min (3hr)	360min (6hr)	
10年	383.4	0.1246	126.2 (21.0)	50.3 (50.3)	28.8 (86.5)	20.3 (122.0)	10.1 (243.3)
30年	523.7	0.4547	193.4 (32.2)	71.8 (71.8)	40.4 (121.2)	28.3 (169.7)	14.0 (335.2)
50年	638.0	0.3590	227.6 (37.9)	86.4 (86.4)	48.9 (146.6)	34.3 (205.6)	17.0 (407.4)
100年	818.6	0.2250	278.7 (46.4)	108.8 (108.8)	62.1 (186.2)	43.7 (262.0)	21.7 (520.8)

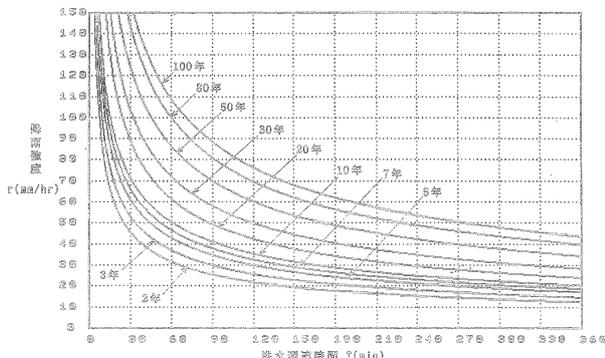


図1: 滋賀県降雨強度式による降雨強度曲線

滋賀県降雨強度式の基本的な考え方は以下に示す通りである。

- ①雨量資料は長期間の資料が整理されている彦根地方気象台の観測値(彦根)としている。(観測開始年:1894年(明治27年))
- ②県内の主要河川の洪水到達時間がほぼ6時間以内であることから、解析対象とする観測時間(降雨継続時間)は「10分雨量」「1時間雨量」「3時間雨量」「6時間雨量」の4種類としている。
- ③観測時間ごとに各年の最大値を上位から整理し、そのうち上位資料を重視するため、上位1/10程度の資料を解析対象としている(当初策定時)。

④確率雨量は「対数確率紙法」により算定している。

※「対数確率紙法」は対数正規確率紙(横軸:雨量の対数值, 縦軸:確率(目盛りは正規分布に基づく))にプロットされたデータを最小二乗法を用いて確率雨量を解析するものである。水文統計の分野では「水文学の対数值は正規分布に従う」とされており⁴⁾, 対数正規確率紙にプロットされたデータは、図2のように概ね直線的に並ぶことから確率雨量の算定時に経験的に用いられてきた。

⑤資料のプロットングポジション公式(水文資料の順位に対応する超過確率の算定法:式(E))はThomas法(Weibull法)としている(式(E)において $\alpha=0$ としたもの:式(F))。

$$W_i = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \quad \dots (E)$$

※ W_i :順位番号の超過確率, N:標本数,
 α :プロットングポジション公式ごとに異なる定数

$$W_i = \frac{i}{N + 1} \quad \dots (F)$$

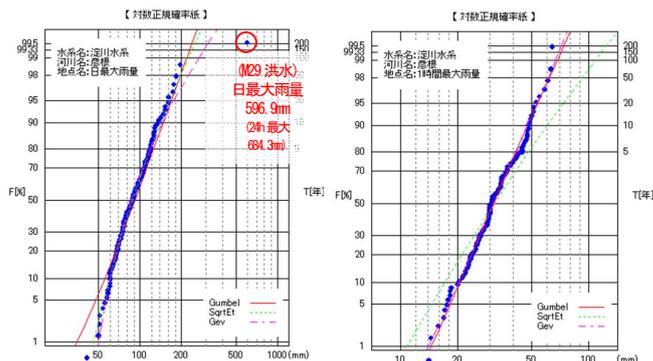


図2:彦根観測所における日最大雨量(左)1時間最大雨量(右)
(水文統計ユーティリティ⁵⁾による)

⑥県内の観測最大値である1896年(明治29年)9月7日の降雨記録を重視するため、下記式(G)の推定式を用いて、各降雨継続時間における推定値を既往最大値(順位第1位)のデータとして採用している。

$$R = 120 \times \sqrt{D} \quad \dots (G)$$

※R:降雨量[mm], D:降雨継続時間[hr]

⑦平成7年の一部改定時には、平成5年までの雨量資料を追加し、検証を行っている。確率年の小さい確率雨量において、全資料を解析対象とした確率雨量が当初策定時の確率雨量よりも大きかったことから、10年以下の確率年の降雨強度式の見直しを行っている。高い確率年(20年以上)については、当初策定時の確率雨量が大きいため、安全側の立場から当初式を引き続き使用している。

滋賀県降雨強度式において最も特徴的であるのは、⑥の明治29年の記録的洪水をもとにした推定式により確率

降雨計算を行っている点である。明治29年9月7日の彦根観測所の降雨記録は24時間雨量684.3mmであり、極めて突出した値となっている。しかし、明治29年当時は降雨強度式の作成が必要となる10分雨量や1時間雨量といった短時間の降雨記録は存在しない。そこで、明治29年の記録的な洪水を短時間の降雨量に反映させるため、推定式を用いることとしている。彦根および国内の記録的豪雨の降雨継続時間:D[hr]と降雨量R[mm]を対数紙にプロットすると、おおよそ「 $R=定数 \times \sqrt{D}$ 」がうまく適合すると考え、同じ傾きのラインのうち「明治29年洪水の彦根観測所の24時間雨量684.3mm」が乗るライン($R=120 \times \sqrt{D}$)を推定式として採用している。(推定式による1時間雨量推定値: $R=120 \times \sqrt{1} = 120\text{mm}$, 10分雨量推定値: $R=120 \times \sqrt{(10/60)} = 49\text{mm}$)

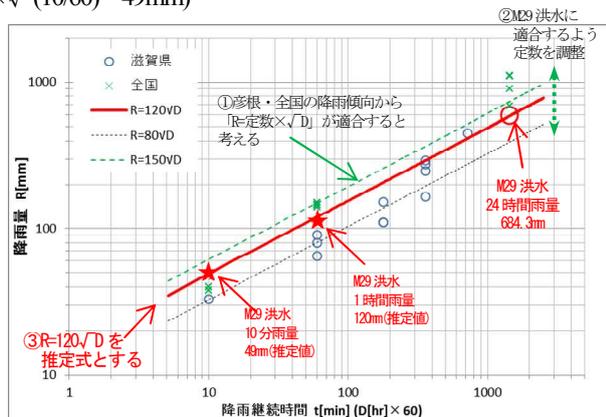


図3:記録的雨量の推定式 ($R=120\sqrt{D}$) の考え方

(3) 現行の降雨強度式に関する課題

前述の考え方を基にして作成された滋賀県降雨強度式が平成29年現在も引き続き使用されている。しかし、下記のような課題があると考えます。

【課題A】資料期間(最新のデータが使われていない)

平成7年の検証より20年以上経過しており、この間に降雨状況も変化していると考えられるが、これまで最新実績雨量データを加えた検証は特に行われていない。

【課題B】解析手法(極値理論に基づく解析でない)

確率雨量の算定に使用されている「対数確率紙法」は対数正規分布の分布形状の適合性が高いことから実用的・慣習的に用いられてきたものであり、Gumbel分布などに代表される「極値理論」の理論的背景を特に有しているものではない。このため、適合度のみの観点ではなく、水文統計学的にも最も妥当であると考えられる確率分布モデルを検討することが望ましい。また確率雨量を求める際に、明治29年の既往最大洪水を考慮するためとはいえ「推定式」により実績にないデータを使用している点も課題であると言える。

【課題C】地域性(地域区分が行われていない)

解析対象とする観測所が彦根観測所1地点のみであることから、滋賀県の降雨強度式は県下統一式となっており、県内での降雨の地域特性を考慮したものとなっていない。他府県では地域特性を考慮し、複数の降雨強度式

を作成することが一般的となっている。

3. 滋賀県降雨強度式の検証作業について

(1) 検証作業の流れ

前述の課題を検証するために、彦根観測所1地点のデータ解析により検証が可能な「課題A(資料期間)」および「課題B(解析手法)」について解析作業を行った。

「課題C(地域性)」については、複数地点の雨量観測所における確率雨量を解析し、地域分布の傾向について考察を行った。

(2) 現行式の再現と問題点

まず平成7年の資料を基に現行の降雨強度式の再現計算を行った。雨量資料については気象庁ホームページ⁷⁾で公開されている「彦根観測所」のデータ(以下「公開データ」とする)を使用した。再現作業および最新データの追加を行う中で、下記の問題が明らかとなった。

- ・平成7年の検証で使用されているデータ(以下「H7データ」とする)の観測期間と公開データの観測期間が異なっている(H7データと公開データの標本数が異なっている)。
- ・H7データの値と公開データの値に一部不整合のものが存在する(H7データが正確なものか判断できない)

彦根地方気象台に問い合わせたところ、公開データは過去の雨量観測簿などの資料を再チェックした上で正確な資料として公開しているとのことであった。単純にH7データに近年の公開データを追加した検証だけでは、使用データの正確性に疑問が残る。しかし、全てを公開データのみで検証作業を行うことは、現行式との比較という点で課題となる。

(3) 検証作業(課題A・課題B)について

使用するデータの課題のため、H7データに近年の公開データを追加した検証(以下「H29①」とする)に加えて、全て公開データによる検証(以下「H29②」とする)を行うこととした。「H29①」「H29②」は現行降雨強度式と同様に対数確率紙法により確率降雨量を算出した(課題Aの検証)。

また、課題Bの検証を行うため、中小河川計画の手引き(案)⁸⁾に記載された「確率水文学設定の考え方のフロー」により、一般的な水文統計手法である極値理論に基づく最適な確率分布モデルによる検証(以下「H29③」とする)も行った。

「H29①」「H29②」「H29③」の具体的な解析手法について下記a)~c)に示す。

a) 「H29①」:新データを単純追加して解析

- ・H7データ(使用データは平成5年まで)は変更せず、それ以後の平成6年~平成28年までの公開データを単純に追加(H7データが正しいと仮定し、公開データによる上書きは行わない)。
- ・明治29年洪水を考慮した推定式($R=120 \times \sqrt{D}$)による推定値(以下「M29推定値」とする)を既往最大値と

して使用する。

表2:検証作業で用いる解析手法の比較表

	使用データ	M29推定値	統計解析手法
現行式	H7データ	使用する	対数確率紙法 (Thomas法・ 最小二乗法)
H29①	H7データ+ 公開データ	使用する	対数確率紙法 (現行式に準拠)
H29②	公開データ のみ	使用しない	対数確率紙法 (現行式に準拠)
H29③	公開データ のみ	使用しない	最適な確率分布モ デルによる

- ・M29推定値の超過確率Wの算定は現行式の手法に準拠し、式(E)におけるNを実資料数ではなく観測期間(123年)とし、欠測期間もNに加え、観測開始からの超過確率として評価する($W=1/(123+1)=0.0081$)。
- ・超過確率Wを基準正規変数Yに変換し、降雨量Xの対数値logXとYの線形回帰式を最小二乗法により算出する。超過確率Wは確率年(再現年数)の逆数であるため、回帰式より 確率年に対応する降雨量を求める。

表3:「H29①」の計算結果(60min:標本数 N=96+1)

順位	年号	W=i/(N+1)	確率年	降雨量X	logX	基準正規変数Y
1	明治29年	0.0081	124.00	120.0	2.079181	2.4060
2	昭和1年	0.0103	97.00	64.9	1.812245	2.3149
3	平成13年	0.0206	48.50	63.5	1.802774	2.0411
4	昭和46年	0.0309	32.33	63.0	1.799341	1.8673
5	昭和37年	0.0412	24.25	58.0	1.763428	1.7365
6	昭和43年	0.0515	19.40	54.5	1.736397	1.6300
7	昭和9年	0.0619	16.17	52.1	1.716838	1.5394
8	昭和34年	0.0722	13.86	52.0	1.716003	1.4599
9	昭和11年	0.0825	12.13	50.0	1.69897	1.3886
10	平成26年	0.0928	10.78	49.0	1.690196	1.3238
11	昭和18年	0.1031	9.70	48.6	1.686636	1.2641
12	昭和47年	0.1134	8.82	47.5	1.676694	1.2086
13	平成19年	0.1237	8.08	47.5	1.676694	1.1566
14	昭和39年	0.1340	7.46	47.4	1.675778	1.1076
15	昭和60年	0.1443	6.93	47.0	1.672098	1.0611
...
93	昭和10年	0.9485	1.05	17.8	1.25042	-1.6300
94	昭和8年	0.9588	1.04	17.7	1.247973	-1.7365
95	昭和29年	0.9691	1.03	17.0	1.230449	-1.8673
96	大正13年	0.9794	1.02	14.1	1.149219	-2.0411
97	昭和4年	0.9897	1.01	14.0	1.146128	-2.3149

$\rightarrow \log X = 1.509 + 0.1505 * Y$

b) 「H29②」: 公開データのみによる解析

- ・データは公開データのみ使用。
- ・統計解析手法は現行式・「H29①」と同じ対数確率紙法(Thomas法・最小二乗法)による計算。
- ・M29推定値は使用しない(実観測値のみによる評価)。

c) 「H29③」: 極値理論に基づく解析

- ・データは公開データを使用。
- ・最適な確率分布モデルの選定のための解析については、「水文統計ユーティリティ」を使用し、複数の確率分布の「適合度」および「安定性」について評価する。
- ・プロットングポジション公式(式(E))は、すべての確率分布形に適用可能とされるCunnane公式「 $\alpha=0.4$ 」を使用する。

表4:「H29②」の計算結果(60min:標本数 N=114)

順位	年号	W=i/(N+1)	確率年	降雨量X	logX	基準正規変数Y
1	平成13年	0.0087	115.00	63.5	1.802774	2.3783
2	昭和46年	0.0174	57.50	63.0	1.799341	2.1109
3	明治29年	0.0261	38.33	60.1	1.778874	1.9417
4	昭和37年	0.0348	28.75	58.0	1.763428	1.8147
5	昭和43年	0.0435	23.00	54.5	1.736397	1.7117
6	昭和34年	0.0522	19.17	52.1	1.716838	1.6241
7	昭和9年	0.0609	16.43	50.9	1.706718	1.5475
8	昭和1年	0.0696	14.38	50.8	1.705864	1.4790
9	昭和11年	0.0783	12.78	50.0	1.69897	1.4169
10	平成26年	0.0870	11.50	49.0	1.690196	1.3597
11	昭和18年	0.0957	10.45	48.6	1.686636	1.3067
12	昭和47年	0.1043	9.58	47.5	1.676694	1.2572
12	平成19年	0.1130	8.85	47.5	1.676694	1.2105
14	昭和39年	0.1217	8.21	47.4	1.675778	1.1663
15	昭和60年	0.1304	7.67	47.0	1.672098	1.1243
...
110	大正1年	0.9565	1.05	17.2	1.235528	-1.7117
111	昭和29年	0.9652	1.04	17.0	1.230449	-1.8147
112	大正9年	0.9739	1.03	15.9	1.201397	-1.9417
113	明治41年	0.9826	1.02	14.5	1.161368	-2.1109
114	大正13年	0.9913	1.01	14.1	1.149219	-2.3783

$\rightarrow \log X = 1.4945 + 0.1462 * Y$

- ・確率分布モデルのうち優先的に取り扱うとされているGumbel分布、一般極値分布(GEV分布)および平方根指数型最大値分布(SQRT-ET分布)の3分布を候補とし、「適合度が高い分布(SLSC \leq 0.04)」のうち、「安定性が高い(jackknife推定誤差が最小)」分布を最適な確率分布モデルとして採用する。

- ・10分雨量および1時間雨量の最適な確率分布モデルは「Gumbel分布」となり、Gumbel分布のjackknife推定値を確率雨量とする。

各降雨継続時間ごとに上記3パターンの確率雨量の計算を行い、現行の降雨強度式から算出される確率雨量(以下「現行式」とする)と比較し、その増減を確認する。3パターンの検証結果が現行式による確率雨量を上回る場合、今回の検証結果が危険側と判断されるため現行の降雨強度式の見直しに関する検討を行うこととする。

(4) 課題C(地域性)の検証作業について

今回の検証では県下の降雨状況の地域によるばらつきを把握するため、比較的データ整理が単純であるアメダスの統計資料(16地点)を用いて、日雨量、1時間雨量、10分雨量について確率雨量の評価を行う。確率雨量の解析については、水文統計ユーティリティを用いて、最適な確率分布モデルを選定し、解析を行うこととする。

4. 検証結果および考察

(1) 課題A・課題Bに関する検討結果および考察

a) 確率雨量(降雨強度)の比較

「H29①」「H29②」「H29③」の手法により、確率年(10年、30年、50年、100年)ごとに、降雨継続時間(T=10min,60min,180min,360min)に対応する確率降雨強度r[mm/h]を求め、現行式の値と比較を行った。結果については、下記の表5のとおりである。10年確率の降雨継続時間10minの場合のみ若干増加(+1.0mm/h)するが、概ね現行式よりも確率降雨強度が下がる結果となった。

表 5: 確率降雨強度の解析結果一覧

10年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)
10	126.2	127.2 + 1.0	121.8 - 4.4	121.8 - 4.4
60	50.3	50.3 - 0.0	48.1 - 2.2	47.5 - 2.8
180	28.8	23.0 - 5.9	24.8 - 4.0	24.7 - 4.1
360	20.3	15.9 - 4.5	16.3 - 4.1	16.4 - 4.0

30年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)
10	193.4	168.0 - 25.4	141.6 - 51.8	144.0 - 49.4
60	71.8	63.2 - 8.6	57.9 - 13.9	57.3 - 14.5
180	40.4	33.8 - 6.6	29.6 - 10.8	29.7 - 10.7
360	28.3	23.5 - 4.8	19.4 - 8.9	19.7 - 8.5

50年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)
10	227.6	190.8 - 36.8	150.6 - 77.0	154.2 - 73.4
60	86.4	71.2 - 15.2	62.3 - 24.1	61.8 - 24.6
180	48.9	39.5 - 9.4	31.7 - 17.2	32.0 - 16.9
360	34.3	27.5 - 6.8	20.7 - 13.5	21.3 - 13.0

100年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)
10	278.7	223.8 - 54.9	162.0 - 116.7	167.4 - 111.3
60	108.8	82.5 - 26.3	68.3 - 40.5	67.9 - 40.9
180	62.1	47.8 - 14.3	34.6 - 27.5	35.1 - 27.0
360	43.7	33.4 - 10.3	22.6 - 21.1	23.3 - 20.3

この結果、現行式が概ね安全側と評価できることから、現段階において降雨強度式の見直しは不要であると考えられる。現行の降雨強度式は、数十年前に作成されたものであるが、近年の多雨傾向である状況も包括した非常に先見性の高いものであったと言えよう。

b) 考察

確率降雨強度は全体的に現行式よりも低下しており、近年の降雨状況が多発している傾向とは、異なる結果となった。結果に関する考察は、下記のとおりである。

①M29推定値の影響

近年の雨が上位に来て、M29推定値($R=120 \times \sqrt{D}$)が突出した値であるため、結果を変えるほどではなかったと考えられる。図4は年最大値の経年変化であるが、M29推定値を考慮しない場合、日最大は横ばい、1時間最大・10分最大は若干増加傾向である。しかし、突出したM29推定値の影響が大きく、近年の増加傾向が打ち消されてしまうと考えられる。

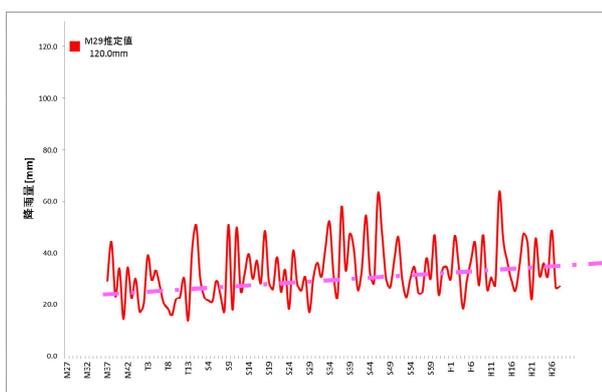


図 4: 彦根観測所の年最大値の経年変化(1時間雨量)

②極値(年間最大値)の評価考え方

近年で最も大きな降雨と考えられる平成25年9月16日の台風18号の雨については、彦根観測所において大きな降雨とならなかったため、確率雨量に反映されていない。平成25年の最大雨量の生起日が10分最大、1時間最大とも7月13日となっている(3時間以上は9月16日が年最大)。

気象庁が発表した「アメダスで見た短時間強雨発生回数⁷⁾の長期変化⁷⁾」によると、「1時間降水量50mm/hおよび80mm/h以上の年間発生回数が増加している」ことが示されている。しかしこれは「年間発生件数」が増加しているということであり、確率雨量の基となる「極値(年最大雨量)」の統計とは別で考える必要がある。確率雨量は基本的に極値水文資料である「毎年最大値」(1年1データ)を対象としているため、各年の最大値(極値)が大きくなると確率雨量に反映されない。

近年の豪雨回数の増加を考慮し、多雨年の2位以下のデータも解析対象とする場合、膨大なデータ処理が必要となり、「非毎年水文資料」として特定値以上のデータを解析することが必要となる。

③確率に関する評価

観測期間(資料数)に対し上位から1/10程度の順位に着目すると、前回検証(H7)は資料数73のため上位7~8位程度、今回検証(H29)は資料数96のため上位9~10位程度がおおよそ10年確率に相当すると考えることができるが、今回新しく追加されたデータにより、10年確率相当値が下記のとおり変化している。

10分最大 H7:20.3~21.2mm → H29:21.2~21.5mm
 1時間最大 H7:50.0~52.0mm → H29:49.0~50.0mm

観測期間が増え、新たに上位にランクインした資料は若干数あるものの、観測期間が増えた分、同じ10年確率でも対応する順位が下がるため、大幅な底上げとならず結果として同レベルとなったものと考えられる。

またM29推定値について、評価対象とする観測期間が長くなったため、より「再現年数が高い雨(起こりにくい雨)」と評価されることとなった。これによりM29推定値の超過確率(再現年数の逆数)が下がり、確率雨量が全体的に引き下げられる結果となったと考えられる。

④一部微増による影響について

H29①では10minで126.2mm → 127.2mm(+1.0mm,+0.8%)とやや増加しているため、確率年の小さい(発生頻度の高い)の短時間降雨については、若干ではあるが降雨強度が現行式よりも高くなる。

河川計画への影響を考える場合、降雨強度rの増加は合理式による計画高水流量Qの増加につながる。しかし、式(C)の合理式において、Qとrの関係は1:1であり、流量増は降雨強度と同じ「+0.8%」となるため、その影響は小さいものと考えられる。

また降雨継続時間の短い開発審査、構造物設計等への影響についても、t=5minであっても+2.5mm(1.4%増)といった微小なものであるため、降雨強度式を見直すまでに

は至らないと考える。

(2) 課題C(地域性)に関する検討結果および考察

県下の降雨の分布傾向を把握するため16地点の雨量観測所におけるアメダスデータを用いて、観測所ごとの確率雨量を算定した。各地点における10年確率雨量の結果については、図5(日雨量)・図6(1時間雨量)のとおりである。一部観測所を除き、概ね現行式が安全側となっている。

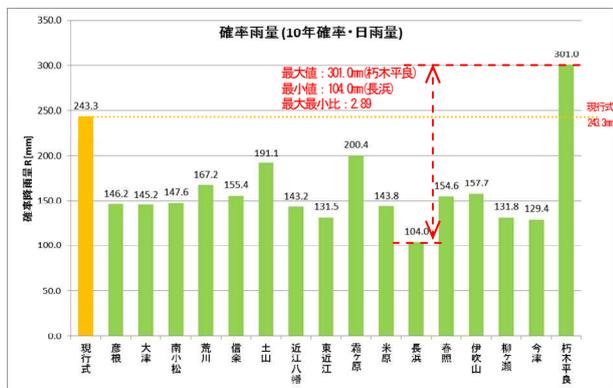


図5: 県内の確率降雨(10年確率・日雨量)

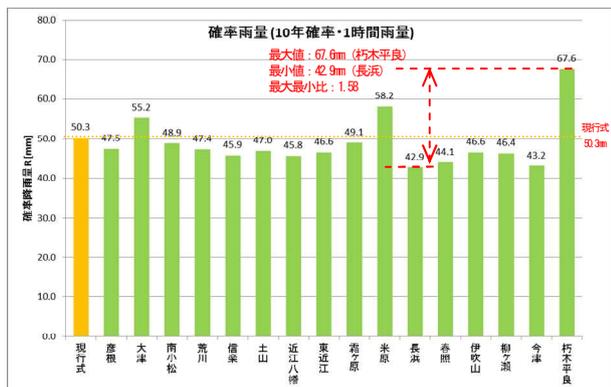


図6: 県内の確率降雨比較(10年確率・1時間雨量)

地域性の検討を行う上で「地域ごとのばらつき」の分析も重要となる。地域ごとのばらつきを評価するため、地点ごとの確率雨量について、観測時間単位および確率年ごとに、「平均値」「標準偏差」「変動係数(標準偏差÷平均値)」「最大最小比(最大値÷最小値)」の項目で整理を行った。

表6: 県内の確率雨量のばらつきに関する統計値

時間単位	確率年	現行式	平均値	標準偏差	変動係数	最大/最小
10分	10年	21.0	21.3	2.5	0.12	1.52
	30年	32.2	25.6	3.3	0.13	1.70
	50年	37.9	27.6	3.7	0.13	1.77
	100年	46.5	30.5	4.4	0.14	1.86
1時間	10年	50.3	48.9	6.2	0.13	1.58
	30年	71.8	59.4	8.0	0.13	1.61
	50年	86.4	64.3	9.2	0.14	1.63
	100年	108.8	71.0	11.1	0.16	1.63
1日	10年	243.3	159.4	42.8	0.27	2.89
	30年	335.2	197.1	62.7	0.32	3.44
	50年	407.4	215.1	73.3	0.34	3.69
	100年	520.8	240.1	89.2	0.37	4.03

ばらつきの目安である「変動係数」および「最大最小比」に着目すると、10分雨量や1時間雨量といった短時間確率雨量の統計値は、日雨量の値の1/2~1/3程度の値

となっており、降雨強度式が重視する短時間降雨の地域のばらつきは日雨量のばらつきほど大きいものではない。

滋賀県の河川整備方針⁸⁾では、流域面積50km²以上の河川における計画降雨規模は「戦後最大洪水」としており、流域内の雨量観測所における実績洪水の降雨波形を用いることで、降雨の地域性を考慮している。一方、降雨強度式を用いて合理式を適用するような流域面積の小さい河川では、洪水到達時間も短いため、地域のばらつきによる影響は比較的小さいと考えることができる。このため、降雨の地域特性の違いはあるものの、現行式の妥当性を覆すほどのものではないと思われる。

しかし、今回地域性の検討に使用したデータのうち資料数が極端に少ない地点(朽木平良11個,米原16個)も存在するため、資料数が変動に大きく影響していることも考えられる。今後データの蓄積や確率モデルの選定など、詳細な検討が必要であると考えている。

地域のばらつきを「地域区分」により反映させる場合、100局以上存在するテレメータの雨量情報も含んで確率雨量の分布状況を詳細に把握する必要がある。

また、地域区分を何分割にするか(北部・南部、圏域単位、流域単位など)、どの確率雨量を採用するか(代表地点とするか、流域平均雨量とするかなど)といった「地域区分の方針」を検討する必要がある。

5. おわりに

今回の検証作業で、現行降雨強度式の課題のうち、資料期間および解析手法の課題について、現行式が安全側であることを確認した。また地域性の課題についても、現行式の妥当性を覆すものではないと判断した。

今後地域区分の課題についてより詳細な検討が必要であるが、データの整理や解析だけでなく、他府県の事例も参考にしながら検討を続けることとしたい。

謝辞：滋賀県降雨強度式の作成およびこれまで滋賀県の河川行政に携われた偉大な諸先輩方の先見性に敬意を表し謝辞といたします。

参考文献

- 1) 滋賀県土木部河港課：滋賀県の河川計画, 1979年
- 2) 滋賀県土木交通部：設計便覧(案)第2編河川編の運用事項, 2007年12月(2016年3月一部改訂)
- 3) 荒川英誠, 宝馨：全国における確率降雨強度式の現状と作成方法に関する一考察, 水工学論文集, 第49巻, 2005年2月
- 4) 岩井重久, 石黒政儀：応用水文統計学, 1970年
- 5) 財団法人 国土技術研究センター：水文統計ユーティリティー Ver1.5 (<http://www.jice.or.jp/tech/software/rivers/hydrology>), 2006年
- 6) 中小河川計画検討会編：中小河川計画検討の手引き(案), 1999年9月
- 7) 気象庁：気象庁ホームページ(<http://www.jma.go.jp/>)
- 8) 滋賀県：滋賀県の河川整備方針, 2010年1月