

# 信濃川流域の降雨特性の変化傾向に関する基礎的検討

NPO 法人 信濃川大河津資料館友の会	理事長	早川 典生
北陸地方整備局 信濃川河川事務所	計画課長	丸山 友之
北陸地方整備局 信濃川河川事務所	計画課 企画係長	若杉 康夫
北陸地方整備局 信濃川河川事務所	計画課	○森元 啓太郎

## 1. 背景

### (1) 全国的な大雨の傾向

平成 30 年 7 月豪雨など、近年豪雨による被害が後を絶たない<sup>1)</sup>。既往研究によれば、日降水量 200mm/d 以上及び 1 時間降水量 50mm/h 以上となるような大雨の年間発生日数は全国的に有意に増加しており、全国平均では将来的に 2 倍以上になると言われる<sup>2)</sup>。

大雨の増加傾向は、信濃川流域でも例外ではないと考えられる。信濃川流域では 1896 (明治 29) 年 7 月に「横田切れ」と呼ばれる大洪水 (以下、横田切れ洪水) が発生し、多くの箇所破堤して広範囲に被害をもたらした。近年の降雨傾向に鑑みると、今後、横田切れ洪水をもたらしたような大雨がいつ発生するとも限らない。

### (2) 本検討の位置づけ

既往研究において、信濃川における 1896~2000 年の 105 年間の降雨データ (日雨量) を用いて、横田切れ洪水の規模を推定するとともに、信濃川の過去の洪水群のなかでの水文学的な位置づけの検討がなされている<sup>3)</sup>。

また、2008 (平成 20) 年 6 月に策定された信濃川水系河川整備基本方針 (以下、基本方針)<sup>4)</sup>では、1926~2006 年 (81 年間) の雨量観測データを用いて年最大流域平均 2 日雨量を算定し、計画規模を決定している。

気候変動による降雨への影響の顕在化が指摘される昨今、降雨の解析においては、最近でかつ長期の観測データを収集することが重要である。また、こうした傾向に関する知見を踏まえ、洪水を安全に流下させるための河川改修事業 (大河津分水路改修事業等) の着実な推進や地域住民への啓発に活用していくためには、地域スケール (流域単位等) での解析が求められる。

そこで、本検討では、横田切れから約 120 年の節目を迎えているいま、基本方針の対象期間を含む 1896~2015 年 (120 年間) のデータ (信濃川流域内 52 観測所、図-1) を解析に使用することとした。ここでは、降雨特性の変化傾向を把握することを主目的とし、第 2 章で述べる仮定のもと、簡便な手法により解析を行うこととした。本検討は、最近でかつ長期のデータを用いて、信濃川流域におけるこれまでの降雨特性の変化傾向とその将来変化予測を試みるものである。

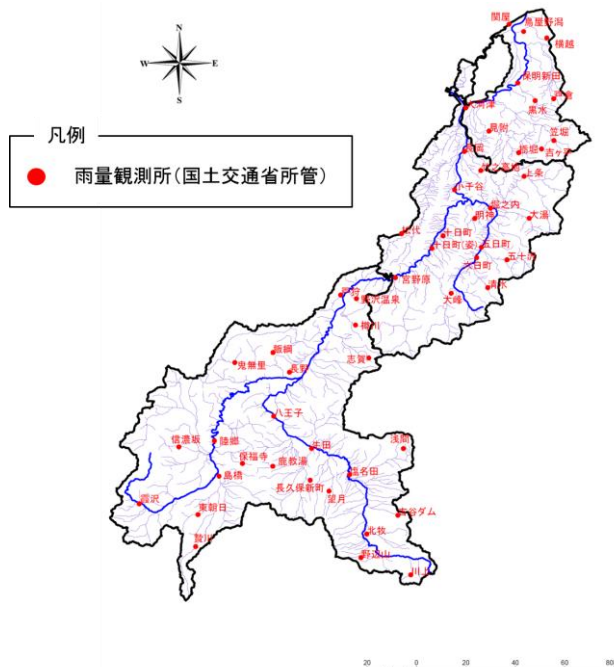


図-1 信濃川流域の雨量観測所位置図

## 2. 解析にあたっての前提条件

### (1) 大雨が発生しうる年間日数に関する仮定

本検討では、「非出水期間 (11 月~5 月) には大雨は発生しない」という仮定をおいた。すなわち、大雨が生じうる年間日数を、365 日間ではなく、出水期間の 6~10 月の 153 日間とした。

この理由としては 2 点挙げられる。1 点目は、解析の対象から冬季の大雪を除くためである。特に信濃川流域は全国有数の豪雪地帯であるため、冬季の大きな降水量は雪によるものである可能性が高い。

2 点目は、近年では非出水期間における大雨の頻度が小さいためである。2012~2014 年の雨量観測値を用いて確認したところ、年間の豪雨発生日数に対する非出水期間の豪雨発生回数の割合は、50mm/d 以上の場合は 25% 未満、80mm/d 以上の場合は 10% 未満であった。

以上のことから、本検討における日数に関する仮定は概ね妥当だと考えられる。

### (2) 流域平均雨量に関する仮定

本検討では年ごとの非超過確率の分析において、「流域平均雨量」の代わりに「観測所雨量の単純平均」を用いた。これは、各観測所で観測された雨量の合計を観測

所数で割ることにより求められる。本来であれば、観測値の欠測や各観測所の支配面積を考慮し、日毎にティーセン法による「流域平均雨量」を算定すべきである。しかし、本検討のように長期間のデータを解析する場合、そのティーセン分割のための作業量が膨大になる。

そこで、1950～2014年に年最大流域平均2日雨量を記録した降雨を対象とし、「観測所雨量の単純平均」と「流域平均雨量」の相関関係を確認した(図-2)。その結果、相関係数は約0.85であり相関が高いといえる。

以上より、本検討の確率評価において「流域平均雨量」の代わりに「観測所雨量の単純平均」を用いても、概ね妥当な分析結果が得られると推定される。ただし、両者の誤差の程度については今後数学的な解析も必要である。

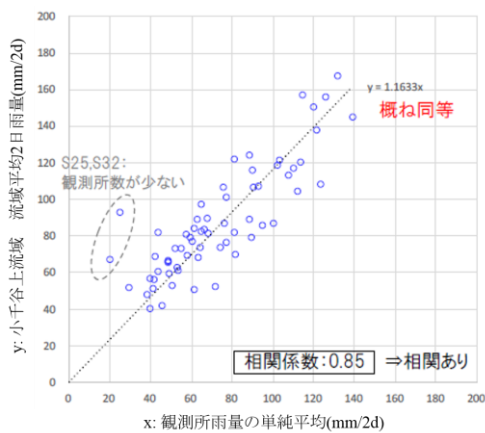


図-2 年最大2日雨量を観測した降雨を対象とした、「観測所雨量の平均値」と「流域平均雨量」の比較(小千谷地点上流域, 1950～2014)

### (3) 雨量確率の計算条件

上記(1)(2)の仮定に基づき、以下の通り雨量の確率評価を行った。解析には、信濃川流域内の国土交通省が所管する52観測所における、1896～2015年の日雨量データから、式(1)により算定した2日雨量Rを使用した。

$$R = R_i + R_{i+1} \quad (i=1, \dots, N) \quad (1)$$

ただし、 $R_i$ は*i*日目の日雨量、*N*は全日数である。

本検討では、実績の降雨日数が年間日数に占める割合を降雨確率の指標として用いた。具体的には、以下の式により計算される「2日雨量に関する非超過確率  $F(r)$ 」を用いた確率評価を行った。

$$F(r) = 1 - (D(r) / 365 \text{日} / 52 \text{観測所}) \quad (2)$$

ただし、 $r$ (mm/2d)は2日雨量の閾値( $r=50, 80, 100, 150, 200$ )を示す。 $D(r)$ (日)は「対象52観測所のいずれかで、閾値*r*を超過する2日雨量が発生する日数」を示し、欠測がある場合は52観測所あたりの値に換算する。また、365日は年間あたりの日数をさす。なお、(2)で述べた仮

定に基づき、 $D(r)$ は出水期間(6～10月)の153日間からカウントした。

### 3. 解析手法

これまで述べた仮定と計算条件のもと、以下(1)～(4)の4種類の手法で解析を行った。

#### (1) 横田切れと近年発生した洪水の比較

横田切れをもたらした大雨の降雨特性を評価するため、他の既往洪水をもたらした降雨と比較を行った。比較対象として、近年(平成以降、すなわち概ね30年以内)に発生した実績洪水のうち、基準地点小千谷で最大流量が7,000 $m^3/s$ を超える3洪水(H16.10洪水:7,770 $m^3/s$ 、H18.7洪水(流量:8,827 $m^3/s$ ) H23.7洪水(流量:8,367 $m^3/s$ ))を選定した。ただし、流量は計算流量(ダム氾濫なし)である。

#### (2) 年最大2日雨量の周期性分析

小千谷地点の年最大流域平均2日雨量について、フーリエ解析により周期成分を抽出し、大洪水が発生する周期性や規模を分析した。小千谷地点の年最大流域平均2日雨量を対象に、回帰式( $Y_i = a + b \times t_i$ )と変動成分 $f(t_i)$ に分離し、経年変化特性を分析した。

#### (3) 温暖化前後での雨量確率の変化

1896～2015年のうち、地球温暖化が概ね始まる前後に分けて、「横田切れの際の2日雨量(169.2mm/2d)以上の雨量が生起する確率(以下、横田切れ雨量確率)」を算定した。確率値の算出においては、各年を一つひとつの標本とみなして横田切れ雨量確率を算定した後、温暖化前・温暖化後の2つの標本集団の中で単純平均した。

ここでは、温暖化が始まる年を1975年とし、その前後での確率値の変化を解析した。これは「確率分布モデルの適用は標本数40を目安とする」という『高水計画検討の手引き(案)』<sup>5)</sup>を参照し、1975～2015年( $N=40$ )を「温暖化後の標本データ」とみなしたものである。

#### (4) 2日雨量に関する非超過確率の将来変化推定

以下に示す流れで、現在及び将来(21世紀末)における2日雨量の非超過確率を算定し、値の変化を解析した。

- 1) 各2日雨量の発生日数 $D(r)$ の経年変化について、11年移動平均を算出し、回帰式を設定。
  - 2) 「日数の変化が1)の回帰式で線形近似できる」と仮定し、21世紀末までの将来予測値を推定。
  - 3) 将来予測値について非超過確率を算定。
- 例として、2日雨量50(mm/2d)以上の発生日数 $D(50)$ の

経年変化及び将来の発生日数の推定を図-3に示す。

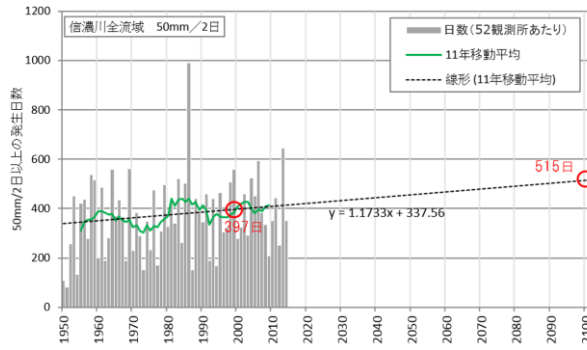


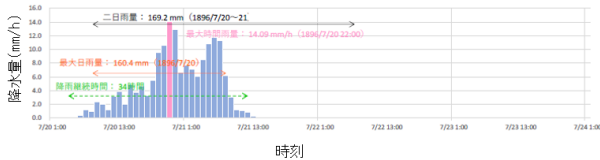
図-3 50mm/2d 以上の 2 日雨量が発生した日数の経年変化と、回帰式により推定したその将来変化

#### 4. 解析結果

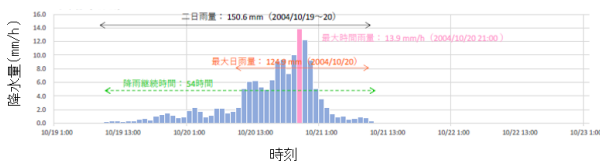
##### (1) 横田切れと近年発生した洪水の比較

横田切れ洪水と近年の洪水 (H16.10, H18.7, H23.7) の小千谷観測所ハイトグラフを図-4(a)~(d)に示す。なお、横田切れ洪水のハイトグラフ作成にあたっては、既往研究<sup>3)</sup>による、日雨量の時空間分布が類似の洪水である S56年 8月 洪水の観測データを用いて、実績の日雨量から時間雨量を推定した。図-4をみると、横田切れ洪水の 2 日雨量(169.2mm/2d)と最大日雨量(160.4 mm/d)は、比較対象 3 洪水のいずれよりも値が大きいことが分かる。

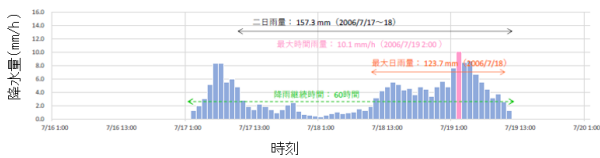
(a)横田切れ洪水(1896.7)



(b)2004(H16).10洪水



(c)2006(H18).7洪水



(d)2011(H23).7洪水



図-4 (a)横田切れ洪水と(b)~(d)近年の3洪水のハイトグラフ (小千谷地点流域平均雨量)

##### (2) 年最大 2 日雨量の周期性分析

年最大流域平均 2 日雨量の変動成分  $f(i)$ について、フーリエ展開は図-5のように示される。

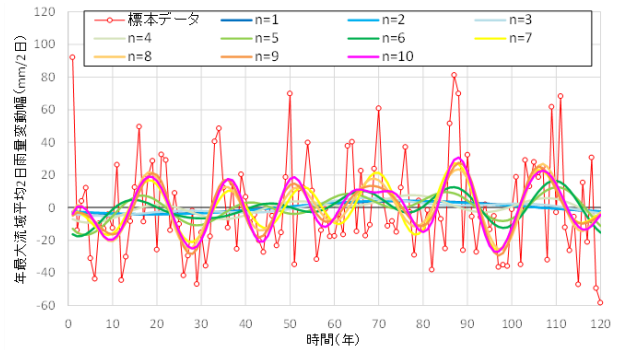


図-5 年最大流域平均 2 日雨量 (小千谷地点) のフーリエ展開. nはフーリエ展開の次数である.

周期と振幅の関係 (図-6) より、年最大流域平均 2 日雨量の変動幅は約 17 年の周期成分が最大であり、その値は他の周期成分と比較して顕著に大きくなっている (図-6 赤丸)。したがって、年最大流域平均 2 日雨量の経年変化には約 15~20 年の周期性があると推定されるが、今後より厳密な解析・考察が必要である。

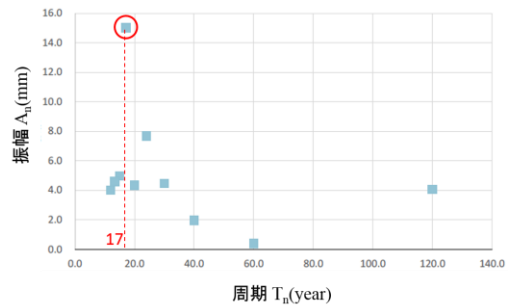


図-6 年最大流域平均 2 日雨量の周期  $T_n$  と振幅  $A_n$  の関係 (小千谷地点, 1896~2015, N=120)

##### (3) 温暖化前後での雨量確率の変化

第 3 章(3)節で述べたように、標本を 1975 年の前後に分けて横田切れ雨量確率を算定した。その結果、1975 年の前後で確率値は 1/134 (約 0.007) から 1/39 (約 0.026) に増加しており、温暖化に伴って横田切れのような大雨の発生頻度が増加してきたと推定できる (表-1, 図-7)。

表-1 横田切れ雨量確率値

	区分	start	fin	年数	横田切れ洪水雨量 169.2mm/2日	
					確率	頻度
全期間	①	M29 1896	H27 2015	120	1/57~1/103 (平均1/77)	1/77
地球温暖化 前後	①	M29 1896	S50 1975	80	1/93~1/188 (平均1/134)	1/134
	②	S51 1976	H27 2015	40	1/27~1/61 (平均1/39)	1/39

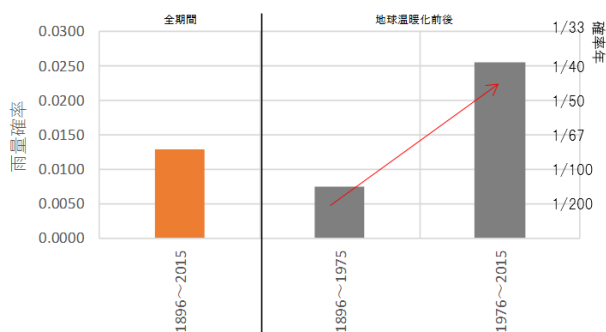


図-7 1975 年前後における横田切れ雨量確率の変化

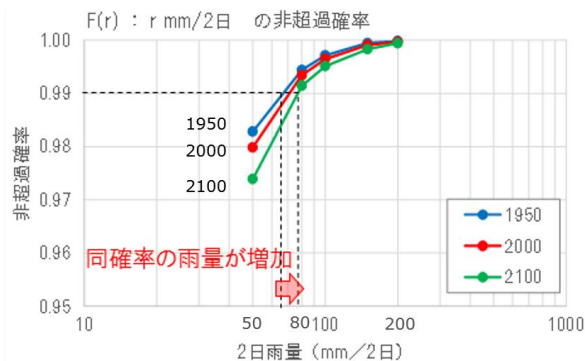


図-8 2日雨量に関する非超過確率  $F(r)$  の確率分布

#### (4) 2日雨量に関する非超過確率の将来変化推定

第3章(4)節で述べた手法により、各2日雨量  $r$  ( $r=50, 80, 100, 150, 200$ ) について、その発生日数  $D(r)$  の2100年までの将来予測値を算定したところ、将来の豪雨発生日数は、いずれの閾値においても増加傾向である(表-2)。非超過確率  $F(r)$  については、現在より将来の方が  $F(r)$  が低下する。すなわち、同じ確率で比較すると現在より将来の方が2日雨量の値が大きくなっている(図-8)。

しかし、図-8 だけでは  $r=200\text{mm}/2\text{d}$  のような値の大きな雨量の変化を判断しにくい。そこで、各2日雨量  $r$  について、以下の式(3)で定義される「増加率」を算出した。

$$(\text{増加率}) = (\text{変化後の日数}) / (\text{変化前の日数}) \quad (3)$$

その結果を表-2 に示す。2000~2100年の変化に着目すると、 $r=50$  では増加率が1.30であるが  $r=200$  では増加率が1.90であり、2日雨量  $200\text{mm}/2\text{d}$  以上の発生日数が約2倍になる結果となった。まとめると、2日雨量  $r$  が大きい豪雨ほど、1950~2000年、2000~2100年の  $D(r)$  の増加率が高いことが分かった。

表-2 各2日雨量  $r$  に対応する  $D(r)$  と、その増加率

$r$ [mm/2d]	$D(r)$	$D(r)$	$D(r)$	増加率	増加率
	1950 [日]	2000 [日]	2100 [日]	2000 ~2100	1950 ~2000
50	338.7	397.4	514.7	1.30	1.17
80	110.5	130.0	169.1	1.30	1.18
100	56.3	69.7	96.5	1.38	1.24
150	10.3	18.0	33.2	1.85	1.73
200	3.3	6.0	11.3	1.90	1.81

#### 5. まとめと今後の課題

信濃川流域における長期の雨量データを解析した結果、横田切れ洪水をもたらした大雨は、近年の大雨イベントと比較して規模が大きいことが改めて確認された。また、このような規模の大雨が発生する頻度は近年大きくなっており、温暖化に伴って21世紀末にかけてより大きくなる傾向が示唆された。

なお、本検討の解析は、第2章で述べた仮定に基づいたものであるため、結果には一定の不確実性があると考えられる。今後は、手法や使用データの精度等を確認した上で、より厳密な解析を行う必要がある。

今後、検討内容を発展させることにより、得られた知見を洪水管理や治水計画に関する検討に活用できると考えられる。さらに、こうした知見を情報発信することにより、信濃川沿川地域の一般住民の防災意識の向上につながることを期待される。

謝辞：本論文の執筆にあたり、関係者の皆様には多大なるご指導・ご助言を賜りました。また、(株)建設技術研究所の阿左美敏和様には資料の提供等に関してご協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言骨子(案)、2019。
- 2) 気象庁：地球温暖化予測情報第9巻、2017。
- 3) 高島和夫：信濃川における「横田切れ」の洪水規模の推定とその位置づけに関する研究、2005。
- 4) 国土交通省河川局：信濃川水系河川整備基本方針、2008。
- 5) 財団法人国土開発技術センター：高水計画検討の手引き(案)、2000。