

信濃川実績洪水群の降雨特性からみた 横田切れの洪水規模の検証

VERIFICATION OF THE SCALE OF "THE YOKOTA-GIRE FLOOD"
FROM THE VIEWPOINT OF CHARACTERISTICS OF RAINFALL OF
HISTORICAL FLOODS IN THE SHINANO RIVER BASIN

高島和夫¹・村田文人²・早川典生³

Kazuo TAKASHIMA, Fumito MURATA and Norio HAYAKAWA

¹正会員 国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 工務第一課長 (〒930-8537 富山市石金 3-2-37)

²国土交通省北陸地方整備局 河川部 地域河川課 整備第一係長 (〒951-8505 新潟市白山浦 1-425-2)

³フェロー会員 ph. D 長岡技術科学大学名誉教授 (〒940-2188 長岡市上富岡 1603-1)

This study is conducted as part of the study on estimation of the peak discharge of "the Yokota-Gire Flood" in July 1896, one of the historical floods in the Shinano River Basin. This study analyses relationship between rainfalls and discharges of relatively large floods since 1956 with well recorded rainfalls and flood discharges, and particularly compares the Yokota-Gire Flood with the flood in September 1982, in which the similar amount of rainfall was recorded despite the difference of the number of precipitation stations exists. Making clear the characteristics of hourly and spatial distribution of the rainfalls which caused large floods in the Shinano River Basin, not only helped to improve the accuracy of the peak discharge estimation of the Yokota-Gire Flood and to verify its validity, but also clarified the statistical positioning of the Yokota-Gire Flood through rainfall characteristics.

Key Word: *historic flood, rainfall and discharge, hourly and spatial distribution of rainfall, estimation of peak discharge*

1. はじめに

信濃川は図-1に示すとおり、長野県の山間を流れる千曲川と犀川が長野盆地で合流し、立ヶ花より狭窄部に入り、その後、魚野川を合流して扇頂部の小千谷を通過し越後平野を流れ日本海に注ぐ延長367km、流域面積11,900km²の日本一長い河川である。

横田切れは、明治29年(1896)7月に横田村(現新潟県分水町横田地先)にある信濃川の左岸堤防が破堤し越後平野一帯を氾濫させ、甚大な被害をもたらした信濃川の歴史上の大洪水である。

横田切れの洪水規模については、その氾濫被害規模から想像を絶するものであったと推定されるものの、気象台観測による23箇所の日雨量記録をもとにティーセン法により算出した7月20日～21日の小千谷上流の流域平均二日雨量169mm/2日が明らかとなっているのみで、洪水規模を表現する洪水最大流量は不明であった。そのため、信濃川の流量観測の代表地点である小千谷において、降雨特性が類似の洪水は降雨の時間分布も相似であると仮定して、近年の実績洪水の雨量記録をもとに横田切れの降雨の時間分布を仮定し、流出計算により洪水最大流量

11,000～15,000m³/sが推定された¹⁾。さらに、新聞等記録に数多く残されている横田切れの洪水氾濫範囲、氾濫水深等の記録をもとに洪水氾濫シミュレーションを用いて横田切れを再現した結果、小千谷における洪水最大流量は13,000～15,000m³/sと流出計算結果とほぼ同程度の値が導かれ、横田切れの洪水最大流量は、降雨記録と氾濫記録という二つの事実から一定の仮定はあるものの、11,000～15,000m³/s程度と推定された。¹⁾

また、信濃川の治水計画は、小千谷地点において計画規模1/150とし、昭和以降の記録をもとに既往主要洪水の実績降雨引き伸ばし方式等により基本高水のピーク流量13,500m³/s(小千谷)として昭和49年(1974)に策定されている。²⁾

一方、信濃川において本格的に流量観測が実施され、流量資料が整う昭和31年(1956)以降、平成12年(2000)現在までに小千谷地点において生起した洪水群をみると、昭和56年(1981)、昭和57年(1982)、昭和58年(1983)と3年連続して大洪水が発生しており、これらの洪水は、昭和31年(1956)以降において、雨量、流量とも1～3位を記録している。さらに、これらの3洪水は、それ以前の信濃川洪水

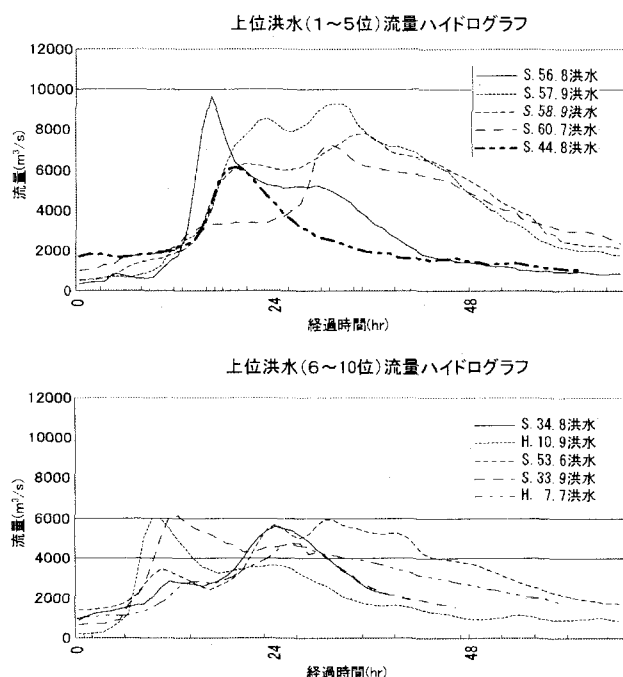


図-3 上位10洪水の流量ハイドログラフ（小千谷）

二日雨量が大きくなると流量も大きくなるという傾向は見られるものの、流域が大きいと洪水の流出までの集中時間が長く、かつ、先行降雨量にも依存するため、ばらつきが大きく精度のよい回帰式が得られず単純な相関関係にないことが分かる。

次に、小千谷における実績上位 10 洪水の洪水ハイドログラフを図-3に示す。ほとんどの洪水波形は二山の形を呈しており、これは、信濃川の流域の大きさ、形状等に起因するもので、各支川流域からの流出のずれが、洪水ハイドログラフに複数の山を形づくるものと考えられる。上流立ヶ花および支川魚野川の洪水ハイドロのピーク生起時刻、降雨ハイトなどと比較すると、一山目は立ヶ花下流域（魚野川等）の降雨による流出、二山目は立ヶ花上流域の降雨による流出が主体となっている。

そのため、小千谷において立ヶ花上流域降雨による流出と立ヶ花下流域降雨の流出が一致すると、小千谷洪水流量は大きくなると考えられ、例えば、上位 10 洪水のうち唯一、洪水波形が一山となっている昭和 44 年(1969) 8月洪水は、流域平均二日雨量が 70mm/2 日程度と平均値よりも小さいにもかかわらず、最大流量は 6,100m³/s を記録し、平均年最大流量の 2 倍に近い値を記録している。

しかし、洪水群全体をみると、洪水ピーク流量の大きさと洪水波形の二山の広がりやピーク発生の時間差との直接的な関係は特に見られない。

(2) 流域の湿潤状態

流域の湿潤状態については、一般に流域の地形地質、林相・植生等の流域の特徴により異なるものの、

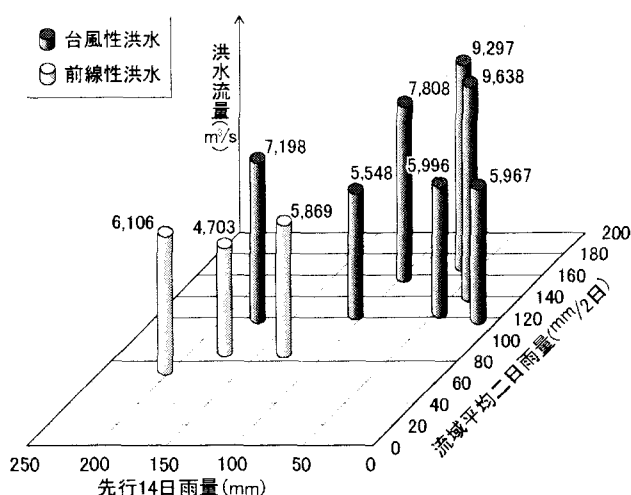


図-4 先行雨量と流域平均二日雨量と洪水流量

流域の特徴が同じならば、先行降雨が大きいほど流域は湿潤となり、降雨が地中に浸透する量が減り、直接河川に流出する量が大きくなる。

ここでは洪水前 14 日間の累計雨量を先行降雨として、洪水流量との関係を整理した。

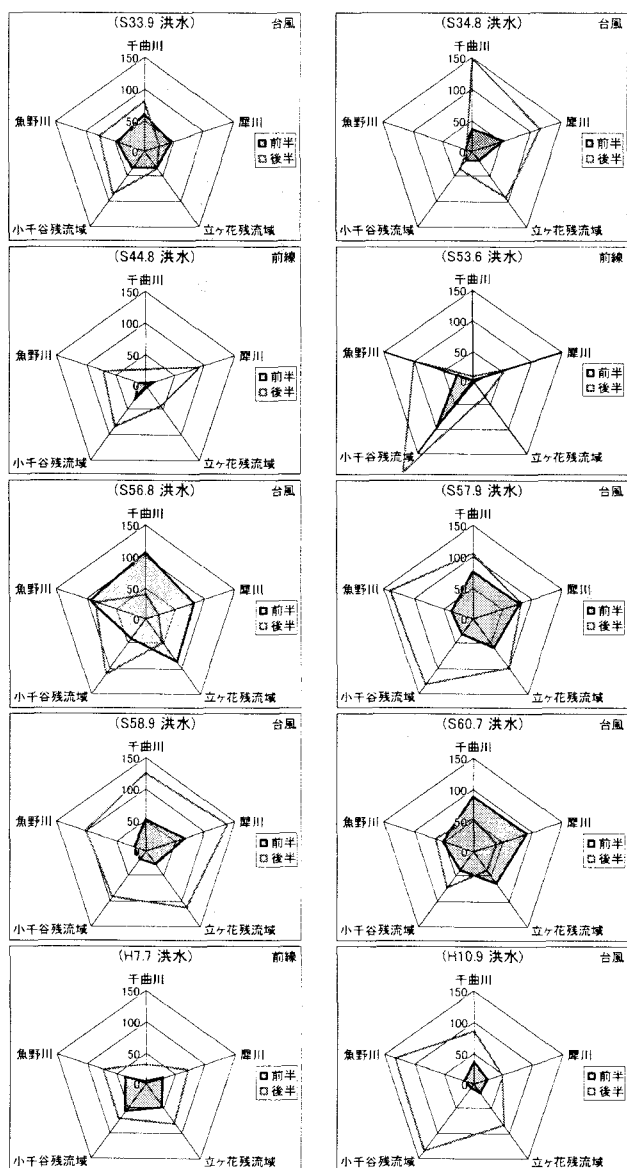
実績上位 10 洪水の小千谷上流域の先行降雨と二日雨量及び洪水流量の関係を図-4に示す。この図より、流域平均二日雨量 120mm/2 日程度の洪水に着目すると、先行 14 日雨量が大きいほど、洪水流量が少し増加する傾向が伺えるが、洪水全体では明確ではない。

(3) 降雨の時空間分布

降雨の時空間分布の特性を視覚的にとらえるため、実績上位 10 洪水の前・後半毎の主要流域別の降雨分布を図-5に示す。なお、空間分布は小千谷上流域を主要流域毎の 5 流域に分割し表現するとともに、時間分布は、横田切れの雨量記録が日単位であるため、実績上位 10 洪水についても最大 48 時間雨量を 24 時間単位の前後半に 2 分割した。

図より、ほとんどの洪水は後半の雨量が大きく、特に、昭和 57 年(1982)洪水、昭和 58 年(1983)洪水等は雨量自体が大きく、かつ全流域にわたって後半の雨量が大きくなっている。一方、前半の雨量が大きい昭和 56 年(1981)洪水、昭和 60 年(1985)洪水の 2 洪水は、前半は千曲川流域、立ヶ花残流域等の上流域の雨量が大きく、後半は小千谷残流域に雨量が集中している。

つまり、小千谷で大きな洪水流量を生起させる降雨の時空間分布の特徴としては、後半の雨量が大きいこと、仮に後半の雨量が前半に比べ小さい場合でも、それが下流域に集中すれば、洪水流量は大きくなる傾向にあることが明らかとなった。



図－5 降雨の時空間分布グラフ（上位10洪水）

(4) まとめ

以上、実績上位 10 位洪水の降雨特性の分析より、小千谷における洪水流量が大きくなる降雨の特徴は、次の通り明らかとなった。

- ①小千谷上流域の流域平均二日雨量が大きいこと。
 - ②小千谷上流域の流域平均二日（48h）雨量の後半（24h）の雨量が大きいこと。
- また、後半（24h）の雨量が前半に比べ小さい場合は、後半の雨量が立ヶ花から下流に集中していること。
- また、明確ではないものの、流域平均二日雨量が同程度の場合、前期 14 日雨量が大きくなると洪水流量も大きくなる傾向が窺える。

3. 横田切れと昭和57年（1982）9月洪水の比較

横田切れと流域平均二日雨量が同規模である昭和 57 年（1982）9 月洪水について、降雨の時空間分布、前期降雨などの降雨特性を比較する。

(1) 降雨の時空間分布

横田切れ洪水の降雨の時空間分布は図－6 のとおりであり、1 日目及び 2 日目とも雨量自体が大きく、各流域とも 100mm 前後を記録し、流域一様に分布している。また、魚野川、千曲川の 2 日目（後半）の雨量が 1 日目（前半）に比べ大きい。

これらは、信濃川小千谷地点の洪水流量が大きくなる降雨特性と一致している。

一方、図－5 に示す昭和 57 年（1982）9 月洪水は、後半（24h）に各流域で 100mm 前後を記録し、特に魚野川、小千谷残流域で 150mm に近い値を記録しているものの、横田切れに比べ、前半（24h）の流域平均雨量が後半に比べ著しく小さい。

更に、降雨の時空間分布特性をより明確にするために、流域を立ヶ花上下流の 2 流域に分け、横軸に立ヶ花下流域（小千谷残流域、魚野川）の 24 時間雨量、縦軸に立ヶ花上流域（犀川、千曲川、立ヶ花残流域）の 24 時間雨量をとり、実績上位 10 洪水について前半・後半毎の雨量をプロットし、その時間的な変化を矢印で示したものを図－7 に示す。プロットした点の位置は、雨量の大きさを示しており、中央の斜点線よりの左上の位置は上流側（長野県）の雨量が下流側に比べ大きいこと、右下の位置は下流側（新潟県）の雨量が上流側に比べ大きいこと、右上の位置は、上下流（長野県、新潟県）とも雨量が大きいことを示している。また、矢印の向きは降雨の時空間的な変化を表し、矢印の大きさは雨量の時間的な変化の程度を表している。（矢印が小さいほうが変化は少ない。）

図より、昭和 56 年（1981）8 月洪水、昭和 60 年（1985）7 月洪水の矢印の向きは右下がり、矢印の長さは比較的に短いため、この 2 洪水は降雨の時空間的な変化量が小さく、一定の降雨量が上流域から下流域に移動していることがわかる。さらに表－1 をみると、この 2 洪水は、他の洪水に比べ、流域平均二日雨量に対して洪水最大流量が大きい傾向にある。

これに対して、昭和 57 年（1982）9 月洪水等の他の洪水の矢印の向きは右上がり、矢印の長さが長い、降雨の時空間的な変化量が大きく、上流域から下流域への量的な移動量は小さいことを表している。

この図に横田切れをプロットとすると、矢印の向

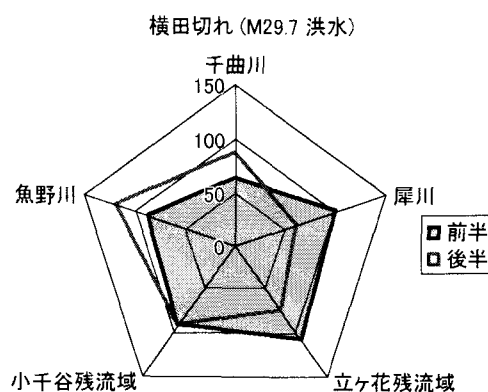
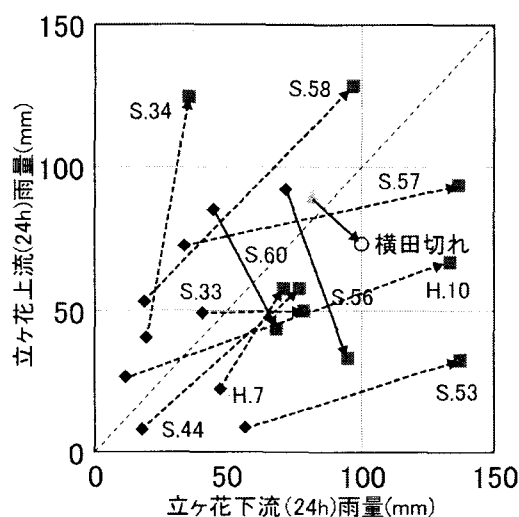


図-6 横田切れ降雨の時空間分布



◆ 前半雨量 ■ 後半雨量 * 横田切れ1日目 ○ 横田切れ2日目

図-7 降雨の時空間分布

きは右下がりとなり、昭和 56 年 (1981) 8 月洪水と同じような時空間分布をしめしていることがわかる。さらに、横田切れの矢印は、グラフの中央やや右上に位置し、かつ長さが小さい。これは、雨量自体が大きく、時間的にも変化していない（つまり大きな雨量が二日継続している）ことを表しているものである。これに対して、昭和 57 年 (1982) 9 月洪水の矢印の向きは、右上がり、後半雨量がグラフの右上に位置するのみで、矢印が長く、雨量の時間的な変化が大きいことがわかる。これは、後半の雨量に比べ、前半の雨量が小さいため、見かけ上変化量だけが大きくみえるものである。

このように、両者を比較すると、横田切れは、流域平均二日雨量に対して洪水流量が大きくなる右下がり型の降雨の時空間分布を呈するのに対して、昭和 57 年 (1982) 9 月洪水は異なる降雨の時空間分布であることが、洪水流量が大きく異なる要因の一つと推定される。

(2) 流域の湿潤状態

流域の湿潤状態は、横田切れは日雨量記録が残っていることから、実績上位 10 洪水も含め洪水前 14

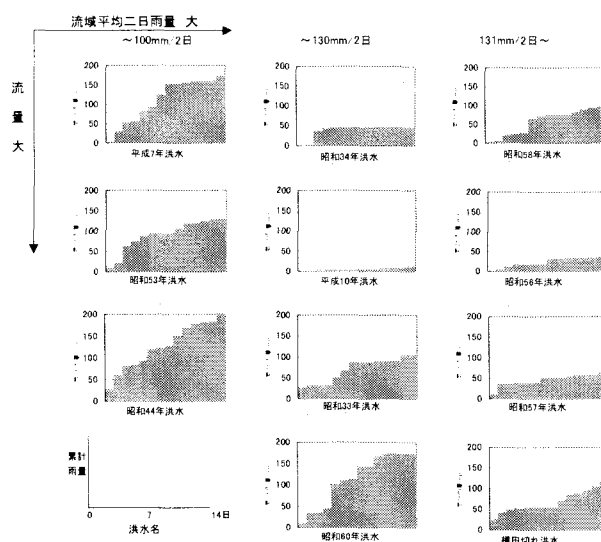


図-8 洪水前日雨量の変化 (14日間の累計雨量)

日間の日雨量の変化を図-8で比較した。

図は洪水を流域平均二日雨量について 100mm/2 日以下、101 ~ 130mm/2 日、131mm/2 日以上との 3 グループに分け、そのグループ毎に上から洪水流量の小さい順に並べた。この図をみると、流域平均二日雨量 100mm/2 日以下及び 101 ~ 130mm/2 日のグループでは、先行 14 日雨量が大きいとともに、先行降雨の発生日数が多いほど、洪水流量が大きくなる傾向にあることがわかる。

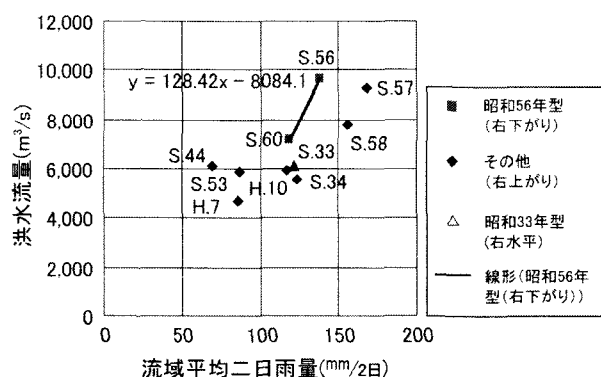
横田切れと昭和 57 年 (1982) 9 月洪水を比較すると、横田切れの先行雨量は、7 日間累計で 55mm、14 日間累計で 115mm であり、昭和 57 年 (1982) 9 月洪水の 50mm、62mm と比べ、14 日間累計雨量でほぼ倍となっている。また、先行降雨の発生日数をみても横田切れの方が多くなっている。以上、横田切れと昭和 57 年 (1982) 9 月洪水を比較すると、先行降雨量及び発生日数に差があり流域の湿潤状態が異なっている。このことも最大流量の違いに少なからず寄与しているものと考えられる。

(3) まとめ

以上、同程度の流域平均二日雨量である横田切れと昭和 57 年 (1982) 9 月洪水の洪水最大流量が大きく異なる要因としては、少なからず先行降雨にもよるが、主として降雨の時空間分布の違いによるものであることが明らかとなった。

4. 横田切れの推定洪水流量の妥当性の検証

横田切れの推定された洪水流量の妥当性を検証するため、時空間分布が相似の洪水群から洪水流量と流域平均二日雨量の関係を求め、横田切れの洪水最



図－9 降雨の時空間特性別 雨量と洪水流量の関係

大流量を推定する。

流域平均二日雨量と洪水流量の関係を図－9に示す。

この図より、時空間分布が異なる昭和56年(1981)8月洪水タイプ(右下がり型)と昭和57年(1982)9月洪水タイプ(右上がり型)を比較すると、右下がり型は、流域平均二日雨量が小さくても洪水流量が大きくなっており、右上がり型は、その逆であることがわかる。

また、昭和57年(1982)9月洪水(右上がり型)と類似の時空間分布を有する7洪水を対象に、流域平均二日雨量と洪水流量について一次近似式を求めると、その相関係数は0.812と比較的良好であり、降雨の時空間分布が類似である洪水には、流域平均二日雨量と洪水流量に一定の関係を有することが明らかとなった。よって、昭和56年(1981)8月洪水等の右下がり型についても一定の関係を有すると推定されるが、右下がり型は2洪水しかない。そのため、右下がり型の雨量と流量の関係式について、単純に2洪水において直線的な関係が成立すると仮定した場合、水平型である昭和33年(1958)9月洪水は右上がり型に近いと仮定し、3洪水で一次近似式を作成した場合の2方法について、その一次式を式(1)及び式(2)に示す。

$$q = 12842 \times r - 8084.1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$q = 15902 \times r - 12440 \text{ (相関係数0.898)} \quad \dots (2)$$

但し、 q ：洪水流量、 r ：流域平均二日雨量

式(1)及び(2)に横田切れの流域平均二日雨量169mm/2日を代入すると、洪水流量は各々約13,600m³/s、14,400m³/sと推定され、横田切れと降雨特性が類似の実績洪水からみて、横田切れは約14,000m³/s規模の洪水であったと考えられる。

この値は、類似の時空間分布を有する洪水データの数が少なく、やむを得ず少ないデータで一次近似式を作成したことなど課題は多いが、先に推定された11,000～15,000m³/sの範囲内にあり、実績洪水

群の分析に基づいた降雨特性から横田切れの洪水最大流量推定値の妥当性を検証することができたと考えられる。

5. 結論

信濃川実績洪水群の降雨特性の分析より次のことが明らかとなった。

- (1) 小千谷の洪水流量が大きい洪水は、流域平均二日雨量が大きく、特に後半の雨量が大きい。なお、後半の雨量が小さい時は、立ヶ花下流に集中している。
- (2) 横田切れは、(1)の傾向をみたとともに、同様の降雨の時空間分布を有する洪水は昭和56年(1981)8月洪水と昭和60年(1985)7月洪水であり、それらの洪水をもとに横田切れの洪水流量を推定すると14,000m³/s程度となる。
- (3) 横田切れと流域平均二日雨量が同程度の昭和57年(1982)9月洪水の洪水流量が異なるのは、降雨の時空間分布の違いによるものである。

また、先行降雨の量の違いも影響していると考えられる。

今後とも、更なるデータの蓄積に伴う分析精度の向上が必要である。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、ご指導等たまわった方々に深くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 早川典生、高島和夫、安原達、森川一郎、村田文人：信濃川「横田切れ」の洪水規模の推定と水文統計による評価、土木学会河川部会、河川技術論文集第10号、2004.06
- 2) 信濃川百年史、北陸地方建設局編集、社団法人北陸建設弘済会、1979.03
- 3) 早川典生、陸旻皎：信濃川年最大流量の統計的特性に関する考察、土木学会第48回年次学術講演会、講演要旨集、1993.09
- 4) 早川典生、陸旻皎、宮島克典：信濃川年最大流量の時系列の統計的特性について、土木学会第49回年次学術講演会、講演要旨集、1994.09
- 5) 気象年鑑、気象庁監修、気象業務支援センター発行
- 6) 流量年表、建設省河川局編、日本河川協会

(2004.9.30 受付)