

河川氾濫の予測手段の検証 第3報

台風19号での千曲川の氾濫

Inspection of the estimation about the flood of River No. 3 Chikuma River in Nagano City

鈴木 誠二*
SEIJI SUZUKI

By typhoon 19, the Chikuma River of Nagano-shi overflowed. It was expected that large rain fell beforehand, and a warning of the flooding was proclaimed by the Meteorological Agency. However, the contents were not understood by a citizen exactly. Using a program estimating the change over time of the flooding of the river which we developed earlier, we predicted that flooding of the Chikuma River became how much. It would be able to predict the outbreak of the flood beforehand if we could obtain the situation of the rain in the upper reaches of the Chikuma River by AMEDAS.

Keywords: flood, Chikuma River, Nagano-City, AMEDAS, typhoon 19

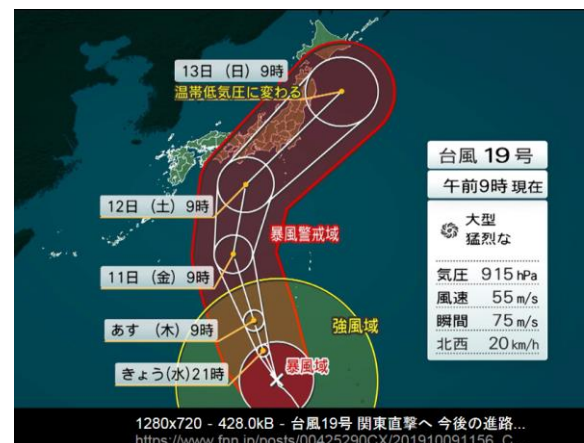
はじめに

先にわれわれは、洪水発生を予測するプログラムを開発した¹⁾。特定河川の、特定地点での、集中豪雨時における洪水の発生を予測する手段として有効であることが分かった。これに基づき、この度の台風19号(2019.10.12)で集中豪雨を受け氾濫した長野の市中を流れる千曲川の水位の状況について、検証した。その結果、今回の豪雨では、千曲川に洪水が発生した要因は、流域が長く分布している千曲川では、氾濫の危険性は雨が止んでも上流での降雨の影響から、半日近く経過してから逆に高まることが分かった。豪雨の予測もさることながら、平素こうしたことを念頭に、氾濫の起きることを予測する体制を確立しておくことが重要である。千曲川は、1983年に決壊し、堤防の整備などを進めていたというが、今回はそのような対策だけでは防ぎきれなかった。災害が起こることは完全に防ぐことは不可能であるので、できるだけ、起こる事の予測を事前にしておくことが大切である。われわれの開発した手法に従えば、洪水の発生することを予測できるので、是非、こうしたことを二次災害を防ぐために利用してもらいたい。今回、洪水の原因である増水の時間的变化を見ることにより、氾濫の危険性を十分に予測できたことを明らかにした。

ここでは、台風19号により、長野市の千曲川の流域で発生した洪水の状況について検討した。

この洪水の状況は、マスコミでも報告され

ているが、千曲川のかなりの上流地域で集中豪雨があり、そのため、時間がかかり経過してから増水が起これ、これが堤防に決壊になり、氾濫が発生した。



台風18号



マスコミで報じられた洪水の記事

* Geopolitical Culture Research Institute

そこで、われわれが先に開発した、河川の増水の状況を予測するプログラムを使い、氾濫の起こる可能性の程度を検証した。ここでは、洪水予測をするために必要なデータは、基本的には、その地域の降雨量を基準としているが、こうしたデータは既に着々と蓄積されてきている。

とりわけ、アメダスの時間当たりの降雨量の経時的な変化を、誰でもが手に入れることができる。こうしたデータをベースにして、河川の流量を計算することで、千曲川の洪水発生を見るのである。このプログラムでは、豪雨による川への流水量が河川の流出量を上回る場合に洪水が発生することになっている。従って、これを基準に洪水の発生した時期、ならびに、特定地点に限定し、その河川の流水量と放水量を算出する。この計算には、単純な計算プログラム（通常の Excel）を使用しているので、これを利用することは、誰でも比較的容易である。つまり、地方行政の土木事務所の事務職のスタッフであれば、十分に取り扱いが可能と考える。

1. 計算の手順の概説

集中豪雨時における河川の氾濫の予測をする手段について、その手法は既に既報で説明したとおりである。その手法を示したものが、図 1-1 である。



図 1-1 河川の氾濫予測手法

2. 流域の設定

2-1 鏡川の流域の設定

検討しようとする河川は長野県の千曲川である。その河川に雨がながれ込む地域を規定する必要がある。日本地理院の地形図を元にするのが望ましいが、求める河川への雨水の量の精度から考えるなら、この地形図は、グーグルの地図を基準とした。この地図をもとに、分水嶺を辿っていき、千曲川の本流、支流にながれ込む雨水の領域を指定する。この領域の指定は、正確に帰すことに越したことは言うまでもないが、全体の面積が必要であるので、分水嶺に従い流域を定め、これをその地形に準じて区分けしてゆく。また、流域については、長野県の河川図という、図 1-2 のような流域を区分した図も提供されている³⁾。必要なものは、雨の降る面積であるから、それほど高い精度を求めることは必要ではない。

2-2 地域分割

こうして決められた流域を、その地形により、雨水の浸透率、洪水の発生状況を検討している地点までの流水の到達時間を考慮する必要がある。これらを参考にしながら、どのように増水するかを見るので、雨量の状況変化の違いなどを考慮しながら、この流域を分割する。ここでは、山地、デルタ地帯、田舎地域、都市地域などを考慮しながら、5 分割とした。

こうして、地域分割されたものが、図 2-1 である。

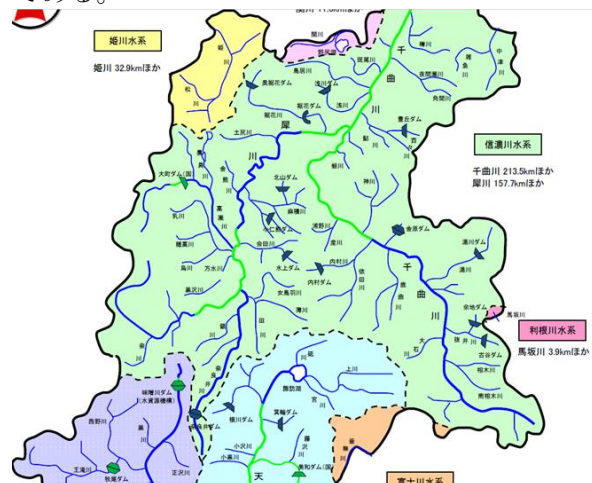


図 1-2 千曲川の流域図

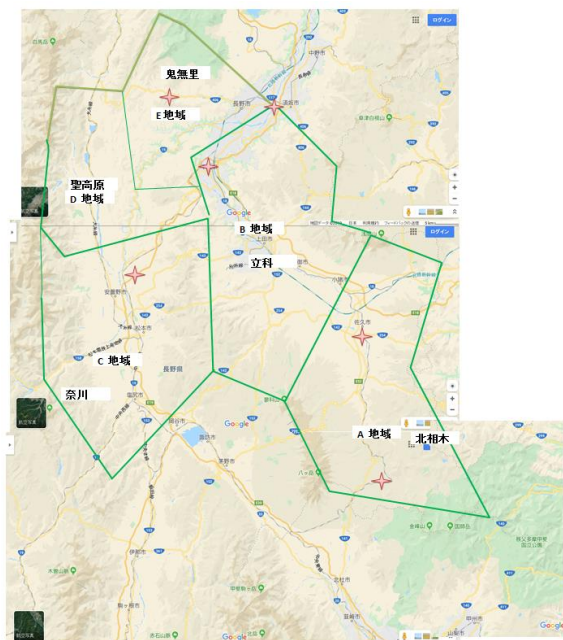


図 2-1 千曲川の流域と地域分割

この区分わけを基準にして、千曲川の流域を図 2-1 のような区域にわけ、雨水の流入量の計算に必要な数値を求めた。降雨した雨がどのような経路で、そして、何時間経過してから、氾濫発生の危険性のある地点までたどり着くかを知る必要が在る。それに従って増水の程度が変わっている。こうして、氾濫の予測に必要な要素を各地域別について求めたものが、表 2-1 である。

各区分の面積は、その領域を図のように分割し、これから求めた。また、到達時間は、夫々の地域の中心点から、支流に流れ込み、これが本流に合流して、検討地点までに到達するのに必要な時間とした。山間部と平野部では、流速がことなるので、こうしたことも考慮する必要がある。浸透率については、集中豪雨でもあり、通常の浸透率よりは低い、長野県の森林の多くが原生林占められているとして、平均的な値を用い、表 2-1 に表されたような数値とした。降雨、場所、森林の状況に合わせて、この値を調整する必要がある。

	地域面積・比率		到達時間		透過率
	区分		河川 Km	Hr	
A地域	山間	0.25	97.5	13.5	0.5
B地域	山間	0.25	55	7.6	0.4
C地域	山間	0.27	67.5	9.4	0.5
D地域	山間	0.09	85	11.5	0.5
E地域	デルタ	0.13	30	4.2	0.35
流域全体	Km ²	4890			

表 2-1 流域の地域分割と到達時間、ならびに、雨水の浸透率

3. アメダスのデータ²⁾

雨量の変化は、降雨の始まりから採取する。こうした観点から、一時間毎の雨量の状況がアメダスで報告されている。ここでは、10 分ごとの雨量は、時間当たりの雨量を 6 分割とした。

3-1 雨の降り始め

雨の降り始めは、注目している地点までの、雨が支流に流れ込み、これが本流と合流してその地点まで到達する時間を考慮する必要がある。到達時間を考え、流域での最初の降雨の時からアメダスのデータを取ることが望ましい。千曲川の場合には、流域が長く、従って、降雨の状況も、地域によって変る。気象庁が雨量を測定するための地点を決めているので、これを参考にする。ここでは、各地域で得られる代表的（実際には、各地域で 2 地点くらいに雨量計が設置されている。）な地点でのデータを採用した。流域が広い場合には、雨の降り方に、地域により差があることは否めない。そこで、その地域に近い地点での雨量のデータがあればこれを採用する。

3-2 雨量データの地域の選択

今回の場合にはほとんどが山間部であり、測定地点が限られているが地 A 地域では、北相目、B 地域は、立科観測地、C 地域では、奈川観測地、D 地域では、聖高原、そして E 地域では、鬼無里（キナサ）観測地のデータを参考とした。

各観測所と千曲川との一関係を図 2-1 に示した。各観測諸地域での雨量は、図 3-2～3-4 のとおりである。各地域での雨の降り方の違いが良く分かる。

図 3-1

北相木(キタイキ)のアメダス(2019年10月12日)

2019年10月12日

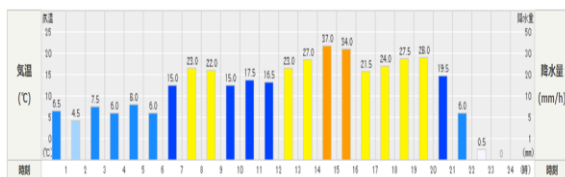


図 3-1 北相木の雨量 (10/12)

立科(タテナ)のアメダス(2019年10月12日)

2019年10月12日

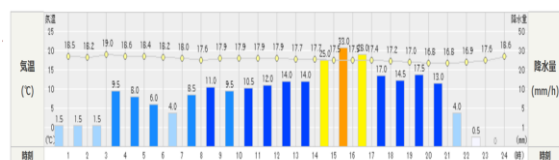


図 3-2 立科の雨量 (10/12)

奈川(ナガワ)のアメダス(2019年10月12日)

2019年10月12日

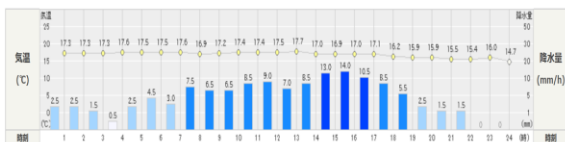


図 3-3 奈川の雨量 (10/12)

聖高原(ヒジロコウゲン)のアメダス(2019年10月12日)

2019年10月12日

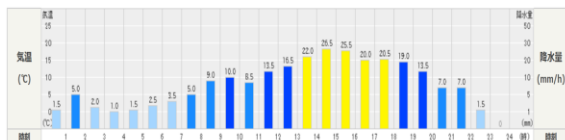


図 3-4 聖高原の雨量 (10/12)

鬼無里(キナサ)のアメダス(2019年10月12日)

2019年10月12日

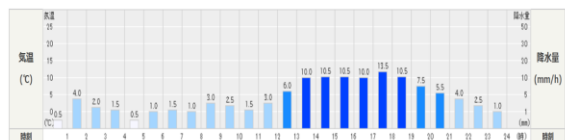


図 3-5 鬼無里の雨量 (10/12)

以下、以下のような既に決められた手順に従って、千曲川に流入する雨の量を算出する。

4. 千曲川に流入する雨の量

千曲川に流入する雨の量は、各流域での雨量、ならびに、面積、支流から本流に入り、注目地点までの流れの到達時間、そして、地域ごとに雨水の土地への浸透率から産出する算出式は

$$WI(t) = \sum_{n=1}^5 f(w_n \times S_n \times \alpha_n) t(T_n) \dots \dots (1)$$

ここで、

$WI(t)$: 注目地点での 10 分間の流量

w_n : n 地域での 10 分間の雨量

S_n : n 地域の面積

$t(T_n)$: n 地域からの到達時間を加味した各地域の時間

α_n : n 地域の雨の浸透率

この式を用いて算出した結果、長野市付近の注目点での雨水の流量は、図 4-1 のごとくだった。

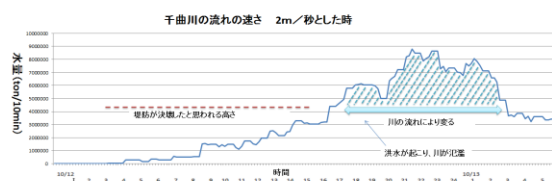


図 4-1 千曲川の当日の流量

この図からもわかる様に、雨水の量は、12 日 8 時から 9 時に掛けて増水が始まり、そして、15 時頃には、堤防の高さが決壊したと思われる土手の高さでも、川が氾濫する状態になっている。その後、氾濫は、真夜中の 2 時頃まで、水が平地に流れ出すことになる。この時の流出能力以上のものが、洪水の被害をもたらすので、その広がりを見れば、どの程度

の深さのなるかが分かる。ただし、ここでの計算は、川の流速を 2m/sec としている。実際の川の流れの速さによってもこの図が変わって来る。

5. 川の流出量の計算

千曲川が流れ込む水量をどれだけ排出できるかにより、川の流れが堤防を越えるかが決まる。逆に、堤防の高さ、さらには、河川敷の広さ、さらには、流れの速さによっても、川からの流出量が変わっていく。千曲川の場合、河川敷が非常に広く、ここに増水した水が、先ず、平常時の川の流れを超えて、溢れてくる。川の水位が堤防の高さから越える場合に洪水が起こることとなる。

5-1 千曲川の幅、

グーグルの地図から千曲川の川の幅、あるいは、河川敷の幅を推定する。



図 5-1 千曲川の川幅

図 5-1 から千曲川の川幅（河川敷の幅）は、 550m 程度であるとした。平常時の川の流れの幅は 55 メートル程度かと思われる。

5-2 堤防の高さ

堤防の高さが洪水の発生に非常に重要である。がこれを地図から読み解くのは非常に困難だ。千曲川の場合は、土手はしっかりしているが、その高さを正確に知ることはできない。回りの状況から考えて、図 5-2 を参考にし、堤防の高さを平常時の水面から取り合えず 10m として、どの程度の増水に耐えられるかみた。

ただし、ここでは河川敷が相当広くなっている、通常の川の流れがどのようなものであるかが、重要である。地形図の状況から通常の

川の流れの時には、河川敷までの高さを 1m とし、これを超えた場合に河川敷に溢れた水がどれだけの水位になるかを見ていく。



図 5-2 千曲川の川幅、堤防の高さの推定

5-3 川の流速

川の流れの速さが排水量を決めるのは言うまでもない。この速度は、流れる先との勾配によって変り、また、流れの障害物があっても流速が遅くなり、排水量が低下する。とりわけ、川の流れが直接海水にながれこむときには、潮位にも左右される。また、川の流れが支流であったりすると本流の川の流れの勢いにも左右されるのでこうしたことを考慮する必要がある。

流出量計算の考え方の構図を図 5-3 に示した。ただし、今回の場合には、川の流れとしては、比較的速い場合となる洪水であると想定して、 2.0m/sec とした。

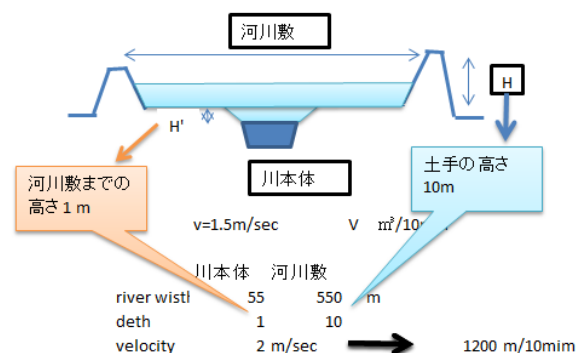


図 5-3 河川敷の幅、堤防の高さと流出量（例）

ここでは、河川敷の高さを 1m としているが、現実の高さはわかっているので、この高さを実際のものに置き換える必要がある。

5-4 放水量

特定地点での放水量は、河川の状況を図 5-3 の図を参考に堤防の幅、高さから、ならびに、

豪雨時の川の流れの速さから、10 分間での放水量 $Me(i)$ トン/10min を求めると、

$$WE(t) = L(m) * H(m) * v(m/sec) * 60 * 10 \text{ トン/10min} \dots (2)$$

ここで

L : 川幅、または、河川敷の 広さ

H ; 平常時の水面からの高さ

v ; 降雨時の川の流れの速さ

() は単位

となる。

従って、通常は、 $WZ(t) \geq WE(t)$ の時に洪水となるが、ここでは、河川敷の水位が問題であるので、平常時の川の幅で、これが河川敷に溢れる場合を考える。つまり、この時点で P 地点での河川敷にへの水の溢れる量を求め、その高さを検討する。

6. 河川敷の水位の状況

6-1 洪水の発生

千曲川に流れ込む水の量と、川の流れにより流出していくその量との比較を経時的に表したものが、図 6-1 である。

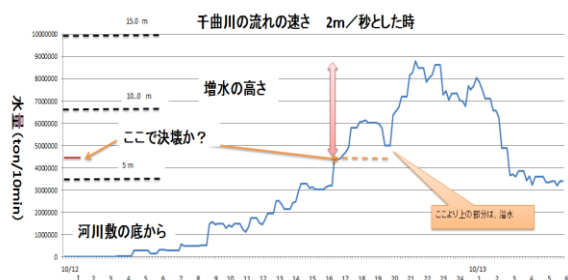


図 6-1 千曲川の河川敷の水位の経時的变化

この時の降雨量から千曲川に流入してくる量は平常の川の流れの幅 55 m 土手の高さを 10 m とすると、19 時頃には、氾濫が発生する。土手がそれ以前に破壊すること考えられるが、ここで、氾濫が始まるとすれば、それ以後の増水は平野部に流れ込む。土手の高さ以上の増水は、真夜中の 2 時前後まで続くことになる。溢れた出す水量は 19 時から次の日の 2 時頃までは非常にはげしく、それ以後、水

位は低くなっていく。

新聞情報では、長野市の立ヶ花出測定された、最大流量は毎秒 7300 立方メートルと報告されている。これからすれば、この報告書で問題にしている 10 分当りの流量は、4,380,000 トンとなる。これ以上の流量が測れなかったということは、この時に堤防の決壊が起きたと想定できる。堤防は、その高さになるまえに決壊していることがわかっている。ここでは、土手の高さを 10m としているが、この図からすれば、この流量は、土手の高さが 7 メートル程度であると推定される。



図 6-2 12 日千曲川堤防の決壊



図 6-3 12 日、千曲川の氾濫

6-2 川の流速の問題

以上のような状況であるが、実際の洪水は、午前 10 頃に発生している。土手の堤防は、増

水が土手の高さとなる前に、破壊されていることも考慮し、洪水の発生時における本計算では、やや、遅めに出ている。これは、川の流速を 2.0m/sec としているためである。そこで、川の流速が変わるとどんな影響が出るかを検討した。まず、流速が 1.5m/秒 、ついで 2.0m/秒 、そして、 3.0m/秒 の場合について比較した。流速が変わると、上流域で降雨が注目点に到達する時間が変わって来る。本計算では、各流域を同一の流速としているが、実際には流域ごとに地形が異なるので、違う流速であると考えるのが妥当かと思われるが、ここでは、その差は無いものとし、同一の流速としていた。このようにして、各流速ごとの増水の状況を図 6-4,5,6 に示した。

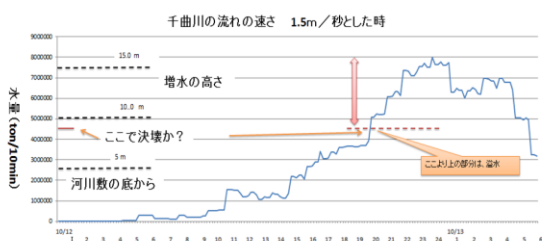


図 6-4 流速を 1.5m/秒 とした時



図 6-5 流速を 2.0m/秒 とした時

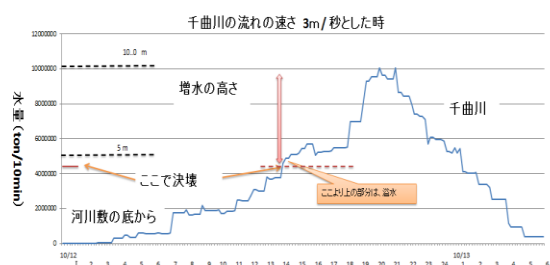


図 6-6 流速を 3.0m/秒 とした時

これらの結果から分かるように、流速が変わると、上流での雨が注目点に到達する時間が変わるばかりでなく、それによる川の増水の形も変わって来る。これは、流域が異なるものが到達する時間がそれぞれ違うからである。従って洪水の発生に対して、主要な流域、つまり、降雨の激しかった地域が何所であるかをよく考察する必要がある。本検討では、流速を 2m/秒 としているが、これを 3m/秒 とすると、洪水は、3 時間程度、早くに発生する。現実の流速を測定することがいかに大切であるかが良く理解できる。

7. まとめ

長野市を流れる千曲川について、その上流で豪雨となった場合の河川敷に増水した場合のその水位の状況を検討した。

図 7-1 に降雨の状況と千曲川の水量の変化を表したが、千曲川の水位が降雨の変化に応じて、かなり敏感に変化していることがわかる。上流での降雨が激しい時の、かなりの時間が送れて増水が起こっていることが良く分かる。これは、河川の流域が非常に長いことに起因している。

今回の計算で、千曲川の洪水の状況が非常によく説明できるようになった。上流での降雨の状況をよく確認し、その水が下流域に到達するまでに、下流での通常の川の状況がどのように変化をするのかを早急にシュミレーションすることがいかに大切であるかがわかった。

この検討で、依然として重要であり不確定な要素は、山林地域での、雨水の浸透率の問題、ならびに、土手の高さが洪水時に強度を持つことができるかどうか、さらには、上流地域でのダムが存在などにより流出量の状況が変わると考えられる。こうした問題については、現地での、実証実験により、より正確なデータを入手する必要がある。

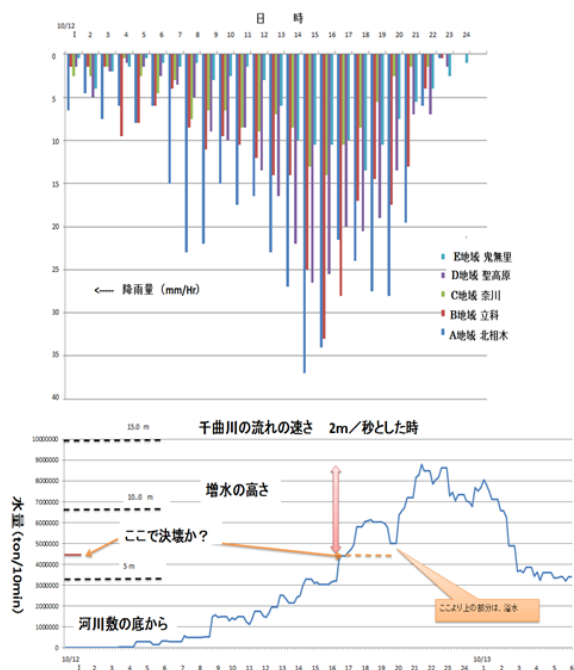


図 7-1 降雨と千曲川の増水量 3)

本報告についてのご意見があれば、下記に御連絡ください。

E-mail :
smartkata09@hotmail.co.jp

(2019.10.15)

参考文献

1) 鈴木 誠二 私信 集中豪雨時の河川氾濫の予測手段の考察 (2019)

2) 国土交通省 気象庁のホームページ

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

3) 長野県の河川流域図

<https://www.pref.nagano.lg.jp/kasen/infra/kasen/keikaku/kenkasen.html>