短 報 SHORT COMMUNICATION

千曲川における後背水域の冠水頻度推定方法

傳田正利¹⁾・萱場祐一・島谷幸宏

建設省土木研究所 河川環境研究室 〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地

Masatoshi DENDA¹⁾, Yuichi KAYABA²⁾, Yukihiro SHIMATANI²⁾: A method to estimate flooding frequency of backwaters in the Chikuma River, Nagano central Japan. *Ecol. Civil Eng.* 2(1), 63-72, 1999.

1), 2) Public works Research Institute of MOC, 1 Ooaza Asahi, Tsukuba, Ibaraki 305-0804, Japan

Abstract: Backwaters in rivers are important habitats for plants and animals. The flooding frequency on backwaters is an important parameter to define the character of the waters. However, methods for estimation of the flooding frequency have not been developed. In this paper we proposed a practical method to estimate flooding frequency of backwaters with an example studied in the Chikuma River.

Flooding frequency of the backwaters in the Chikuma River was estimated based on the map with contour lines at every 0.25 m. Assuming the water elevation rise to 0.25 m, 0.5 m, the water was estimated to run into the backwaters through the lower part of river terrace. When the water elevation rise to 0.75 m, flooding situation changed drastically. The flooding stream was estimated to occur on the river terrace and many backwaters was inundated. The important point was that flooding frequency at the backwater was not dependent on the backwater elevation.

Key words: backwater, flooding frequency, flooding condition, water elevation, fine contour map

はじめに

河川において河道内の湾状あるいは池状の水域は多くの生態的機能を有している。生物の生息の観点としてみると、これらの水域は魚類の産卵場、本川内に生息する稚魚・仔魚の生育の場所、出水時の避難場、水面採餌型のカモ等の休息場等の機能を有している(冷水 1980; 島谷 1997)。また、これら水域は面積としては狭くとも多くの種の魚種の生存が可能になるという調査報告もあり、生物多様性の保全に寄与している(山根 1991; 阿久津 1994)。このような水域の機能は広く認識され、これら水域の保全、復元の事業が全国において多く行われている。しかしながら、このような水域のハビタットとしての基

礎的情報は少なく、また、これらと生物生息状況との関係性などの知見は十分に得られていないのが現状である。

そこで本研究では、まず、河道内の湾状あるいは池状の水域の環境を規定する重要なパラメータの一つである冠水状況に着目し、地形図を用いた冠水状況の簡易な算定方法を提案する。

河道内の湾状あるいは池状の水域の呼称及び定義

河道内の湾状あるいは池状の水域は、砂州や滞筋の移動などの自然要因で形成されるもの、水制や砂利採取など人為的要因で形成されるものがある。わが国では、ワンドやたまりと呼ばれているものがこれに含まれる。ワンドは、本流からの湾入部(根来ほか 1976)、たまりは河

1998年12月22日受付, 1999年4月12日受理

1) e-mail: denda@pwri.go.jp

川敷の窪地に水の溜まった止水域（上田 1987）のことを一般的に指し、特に、淀川では水制に囲まれた本流沿いにある池（建設省近畿地方建設局淀川工事事務所河川環境課 1992）のことをワンドと呼んでいる。神奈川県、長崎県、宮城県などの一部の地方でも入り江のことを（上田 1987）ワンドと呼んでおりワンドが湾状の水域についてかなり広い地域で用いられている用語であることがわかる。土木の分野では、萱場ほか(1997)は、自然形成による湾状あるいは池状の水域をワンド、タマリの区別をつけずワンドと呼んでいる。これは増水時に河川敷上のタマリも本川と連絡し、ワンドになることから両者の区別をつけずにこのように呼んでいる。

一方、外国では、河道内のユニットあるいはハビタットの分類として Roux (1982), Sullivan (1986), Hawkins et al. (1993) のものがある。それらの分類は類似しているが必ずしも一致しているわけではない。Hawkins et al. (1993) は河道内の湾状あるいは池状の水域を Dammed Pools 及び Abandoned Channel としており、前者を本川とつながっているもの、後者を本川から孤立しているものと定義している。また Sullivan (1986) は Pool を Backwater と Scour に分類し、Backwater をさらに Separation zone と Dammed pool に分けている。Sullivan (1986) の分類には孤立した池状の水域は含まれていない。Roux (1982) の分類は河道のハビタット分類としてわかりやすく、日本の河川にも適用しやすい。この分類では Backwater を本川に下流端のみ接続するもの、本川への常時の接続はなく出水により影響を強く受けるもの、本川への常時の接続はなく洪水による影響をまれに受けるものの 3 つに分けている。池状の水域は本川との接続の頻度により 2 種類に分けられている。また、Roux は Backwater よりも本川に近いハビタットとして、常に本川と接続している Side Arm を定義している。本論文で対象とするのは Roux の分類の Side Arm と Backwater に該当する領域である。なお、Roux (1982) の分類は自然形成のハビタットに対してである。また、ドイツ語圏の論文では、Augewässern (Auge: 目, 斑点, wässern: 水, 河川水) が Backwater に対応し Offenen (開く) と abgeschlossen (隔離, まとまり) の 2 つに分類している。(Schiemer 1998)

以上のように英語では Backwater が河道内の湾状あるいは、池状の水域に一番近い語であることがわかる。そこで、本報ではこれ以降、河道内の湾状あるいは池状の水域を backwater の訳語として仮に後背水域と呼ぶ。なお、これは back marsh を後背湿地と呼ぶのを参考に

訳した。

調査地と方法

調査対象地域の概要

Fig. 1 に調査対象地域の概要を示す。調査対象地域としては自然に形成された後背水域が多くみられる 95.6 km~97 km 区間（長野県埴科郡坂城町）（東経 138°10', 北緯 36°25'）とした。河床勾配は約 1/800 で千曲川の中流域にあたる。本区域内には右岸高水敷に 8 ヶ所、左岸高水敷には 3 ヶ所後背水域が存在している。平水時はそれぞれの後背水域は各々独立して存在するが増水時には本川と連結し、さらにいくつかの後背水域も連結し本川の水が流入する。

千曲川における後背水域の概況

千曲川には、多くの後背水域が存在している。千曲川では、65 km~97.5 km 区間全体で 56 個の後背水域が確認されている(萱場ほか 1997)。Fig. 2 に千曲川の後背水

Fig. 1. Map of the Chikuma River. The Chikuma River flows through north part of Nagano Prefecture. Entering Nigata Prefecture it changes its name and flows through into the Japan sea. The study site is located in the midstream of the Chikuma River, in which there are many natural backwaters.

Fig. 2. Relation between the accumulated number of backwaters and longitudinal distance from 67.5 km to 97.5 km section in the Chikuma River. The inclination of the fitting line among some points shows a density of backwaters. The study site is located in the reach in which the density of backwaters is relatively high.

域の分布形態を示す。河床勾配は 65 km～80 km で約 1/1000, 80 km～97.5 km が約 1/400 と 80 km 地点を境に大きく変化する。65 km～80 km には 1 km あたり 1.1 個と比較的等間隔に後背水域が分布するが、80 km より上流では砂州の発達状況により後背水域の分布密度の高い区間と低い区間に分けられる。調査対象地域はこの区間の中でも特に後背水域の分布密度が高い地域である。

後背水域の長径は 40 m～200 m で長径の最頻値は 120 m であり、後背水域の短径は 10 m～40 m で短径の最頻値は 20 m である。形状は細長い楕円状のものが多く、後背水域の面積は 500 m²～4000 m²で、面積の最頻値は 2000 m²である。

冠水状態図の作成方法

後背水域の冠水頻度の算定には、空中写真から作成した千曲川ベースマップを用いた。Fig. 3 に千曲川ベースマップを示す。ベースマップは、1996 年 10 月 17 日時点での対象区間の地形及び流水部の水面が標高 0.25 m 刻みで記載されている。このベースマップを基に本川の水位が 0.25 m 上昇するごとに冠水する箇所を推定して、冠水箇所を記述し、冠水状態図を作成した。冠水箇所の推定では、高水敷の出水痕跡調査から後背水域周辺の冠水形態を予測して行った。この作業を繰り返し最高水位を当初水位より最大で 2 m 上昇させ、後背水域の冠水状況の把握を行った。

冠水頻度の算定方法

平成 8 年度流量年表より杭瀬下流量観測所の流況曲線をもとにベースマップ作成時の 1996 年 10 月 17 日の流量が 1996 年の中で何番目流量であるかの把握を行った。流況曲線は、水位観測所における日流量の年間状況を示すもので、流量と累加日数の関係を曲線にしたものである。その結果 45 番目流量であることがわかった。

次に千曲川 97 km 地点に設置した自記水位計の水位データより、水位位況曲線を作成した。水位位況曲線は水位観測所における日水位の年間状況を示すもので、日水位と累加日数の関係を曲線にしたものである。用いた水位データは 1997 年 5 月 8 日～1998 年 2 月 28 日の水位データである。この位況曲線をもとに年最大水位から 45 番目の水位を算定し、この水位を 1996 年 10 月 17 日の水位とし、この水位を基準として 0.25 m ピッチに水位を上昇させ、対象水位が年最大水位から累積して何日目かを算定し、この日数を冠水頻度とした。なおこの区間においては流量と水位との関係はいずれの地点も同一と仮定した。

次に、複数年にまたがるような冠水頻度の算定を行うため、千曲川 97 km 地点の自記水位計データと杭瀬下流量観測所の流量データの関連付けを行い、流量の確率年の算定を行った。水位計データと杭瀬下流量観測所のデータの関連付けは水位流量曲線の作成により行った。水

Fig. 3. An Example of the base map of the study site. The contour of land form and water level are described at every 25 cm on the base map. There are 11 backwaters in the study site.

位流量曲線とは、水位 H を縦軸に流量 Q を横軸とする座標上で現地測定時の水位、流量の値をプロットし、水位と流量の関係曲線を最小自乗法によって求めるものである。また、確率年とは、流量 Q がある値 Q_u を超える確率を q (Q_u)、またそれが T 年に 1 度 (年) と期待されるとき、この T 年を確率年という。この確率年を用い、対象区間の水位と対応する流量が何年に一度の流量かを算定した。

各水位における後背水域の冠水状態と冠水形態

Fig. 4 に本川の水位がベースマップより 0.25 (m), 0.5 (m), 0.75 (m), 1 (m), 1.25 (m), 1.5 (m), 2 (m) 上昇した場合の冠水状態図を示す。本川水位が 0.25 (m) 上昇すると、砂州の低い部分や低水路河岸の一部低くなっている部分が冠水し、低水路付近にある後背水域 No. 3, No. 11 は本川の背水区間となり冠水する。この水位では流量が低水路内で流下できるため高水敷上への水の流入は少ない。本川水位が 0.5 (m) まで上昇すると、砂州や低水路河岸付近への冠水面積が増加し、高水敷上のいたるところに楔状の水面が見え始める。この時点で後背水域 No. 11 が本川のせき上げ区間となり冠水し、後背水域 No. 11 とつながる。また、水位の上昇に伴い河岸沿い

の低地部分から流入した流水が右岸高水敷上に水面を形成し、高水敷上の低い部分を流下して後背水域 No. 5 と No. 6 が冠水する。本川水位が 0.75 (m) に上昇した場合には、右岸高水敷上の堤防法尻付近の低地沿いに明瞭な流路が形成され、この出水時流路の中に分布する後背水域 No. 4, No. 5, No. 8, No. 9 が冠水する。これと同様の現象が左岸高水敷でも生じ、出水時流路の中に分布する後背水域 No. 2 が冠水する。水位が 1.25 (m) まで上昇すると、右岸上の出水時流路が拡大し本川側の水面とつながる。また、左岸高水敷でも出水時流路が拡大し、高水敷上の低い部分に水面が広がりはじめ後背水域 No. 1 がこの背水区間となり冠水を開始する。水位が 1.5 (m) まで上昇すると、右岸高水敷は一部の微高地を残して冠水する。左岸側高水敷では新たな出水時流路が出現する。水位が 2 (m) に達すると、右岸高水敷はほぼ全域が冠水する。左岸高水敷の冠水面積が大きくなり、微高地を除いて冠水する。

以上、各後背水域の冠水状態と冠水形態を述べてきたが、ここで、特徴的な冠水形態を Fig. 5 に示す 3 つのタイプに分類した。1 つ目は、低水路周辺に存在する後背水域によく見られるタイプで、低水路河岸の低い箇所か

Fig. 4. The estimated flooding map at different rising water elevations (Δh). When water elevation rises to 0.25 m, lower part of sand bars and channel banks are flooded. The backwater No. 3, No. 11 which are located near the low water channel are flooded. When water elevation rise to 0.5 m, flooded area increases. When water elevation rises to 0.75 m, the flooding stream occurs on the right river terrace and the backwater No. 4, No. 7, No. 8, No. 9 are inundated by the flooding stream. When water elevation rises to 1.25 m, the flooding stream expands on the left river terrace and the backwater No. 1 is inundated. When water elevation rises to 1.5 m, the right river terrace is flooded except higher part of river terrace. When water elevation rises to 2 m, the left river terrace as far as the right river terrace is almost flooded.

ら水が流れて本川のせき上げ区間となり冠水するタイプである。2つ目は低水路からやや離れた後背水域と高水敷上に出水時流路が形成され、後背水域自体が出水時流路となり冠水するタイプである。3つ目は、低水路から離れ水面からの比高が高いところにある後背水域によく見られるタイプで、本川の流が河道一杯に広がり高水敷全体を流下し冠水する。このタイプは冠水時の水深が大きく流水による外力が大きいため河道内にある地形自体が変化し、本推定方法の適用が困難になることが考えられるが、この点については後述する。

尚、各水位における冠水状態の妥当性を確認するため、

1998年4月15日及び9月16日の洪水後に各後背水域の冠水状態を現地踏査から確認し、当日の日平均流量との関係をTable 1に示した。概ね算定から導き出した後背水域と同じ後背水域が冠水していることがわかる。

冠水頻度の算定結果

Fig. 6に対象区間に設置した自記水位計と杭瀬下流量の関係を示す。最大水位から22番目水位に変曲点が存在するため曲線の算定にあつては、関係を年最大水位～22番目水位に関する式(式1： $Q=225(H-0.53)^2$)と22番流量以下流量に関する式(式2： $Q=78.5(H-0.082)^2$)の2式を算定した。Fig. 5に超過確率と杭瀬下

Fig. 5. Classification of the flooding situation of backwaters corresponding to the water level. Type 1 is at dammed up situation. As water elevation rises, flow of low water channel is dammed up and lower part of sand bar and channel bank are flooded. Near low water channel is inundated. Type 2 is at flooding stream situation. As the flooding stream occurs on the river terrace, backwaters in the flooding stream are inundated. Type 3 is at widened flow situation. When the flow of low water channel and flooding stream are widened to the whole channel, backwaters on the river terrace are inundated entirely. When type 3 occurs, backwaters would be deformed, eliminated or moved.

流量観測所年最大流量の両対数紙プロット, Table 1 に上昇水位 (Δh) と杭瀬下算定流量 (Q_c), 流量の超過確率 $W(Q)$, 流量の出現頻度, 水位の上昇に伴い冠水する後背水域を示す. 超過確率 $W(Q)$ とは流量がある特定の流量 Q を超える確率をい, $W(Q)=1/100$ の場合, ある特定の流量 Q が100年に1度の流量であることを示す.

各後背水域の冠水頻度を見ると, 1年間に10回程度冠

水する後背水域が2個, 1年間に5回程度冠水するものが3個, 2年間に1回程度冠水するものが5個, 4年に1回程度冠水するものが1個であった. このように1年間に頻繁に冠水するものと数年に1度しか冠水しないものとがあり, 冠水頻度といった観点から後背水域を見ると大きな差があることがわかる.

これは, 前述した2つ目の冠水形態のように, 後背水

Table 1. Relation among rising water elevation, estimated flow as Kuisage streamflow gaging station, frequency of the flows and flooding bakwaters with the flow. Flooding frequency represents estimated number of floodings in a year. The frequency of backwater No. 1 is remarkably low relative to the others.

	Δh (m)	Q_c (m/s)	$W(Q)(\%)$	Flooding frequency	Flooded beckwater
Flooding frequency estimated by this reseach method	0.25	120	—	10	③⑪
	0.50	216	—	5	⑤⑥⑩
	0.75	340	61	1/2	②④⑦⑧⑨
	1.00	492	38	1/3	
	1.25	673	25	1/4	①
	1.50	882	18	1/6	
	2.00	1384	10	1/10	
Actual flood condition (1998. 4. 15)	1.11	570	31	1/3	②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪
Actual flood condition (1998. 9. 16)	2.01	1500	9	1/11	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪

— : Flooding frequency is estimated with data of recorder type water level

Fig. 6. Stage discharge curve between water elevation of research field and flow or Kuisage streamflow gaging station. The curve has a inflection point and are consisted of two stage discharge curves. We applied $Q=225(h-0.53)^2$ to the calculation of flooding situation.

域が本川と溝状の低い微低地でつながり出水時流路が形成されて冠水する場合によく見られる。この場合、出水時流路の入り口部分の水位が上昇しここから水が流入すると、河道の横断面上において後背水域の水面より本川水位が低い場合でも冠水する可能性がある。このような高水敷上にある溝状の微低地は、千曲川の場合には、過去の低水路やここに存在していた淵が大規模な出水により埋没し形成されていることが多い。つまり、後背水域の形成要因が冠水頻度や冠水形態を規定する可能性を示している。

本手法による冠水頻度算定結果と従来の考え方による冠水頻度算定結果との比較

従来後背水域への冠水を考える場合には、河道を横断方向に分割し高水敷上の微高地の標高より本川水位が上昇した場合に、後背水域への冠水が始まると考えられてきた。しかし、本研究の結果、従来の考え方には含まれていない冠水形態があることが把握できた。そこで、本研究で提案する冠水頻度の算定結果と従来の冠水の考え方による冠水頻度の算定結果の比較を行った。

従来の冠水の考え方による冠水頻度の算定方法は、Fig. 3 に示す千曲川ベースマップから後背水域中心部を

Fig. 7. The relations between probability of exceedance and the annual maximum flood at the Kuissege streamflow gaging station. Probability of exceedance means the probability that some flow exceed the specific flow. For example, 1% exceedance means that flow occurs one time during one hundred years.

通る河道横断面を作成し、横断面上の本川水位、後背水域の水位、横断面上で本川と後背水域の間の微地形上で最も高い地点の標高を読み取り、本川水位が最も標高の高い地点を越えたときに後背水域が冠水するとし、そのときに必要な上昇水位と Fig. 6 に示す水位流量曲線から冠水時算定流量を算定した。尚、ここでは両手法による冠水頻度の差異を明瞭に示すため、冠水時算定流量を用いて比較するものとした。Fig. 8 に本研究手法と従来の考え方による冠水時算定流量の散布図を示す。

両手法による冠水時算定流量の差異については、2つのタイプに分かれる。1つめのタイプは従来の手法による冠水時算定流量と本手法による冠水時算定流量に大き

な差異がない場合。2つめのタイプは従来の手法による冠水時算定流量と本手法による冠水時算定流量に大きな差異がある場合である。1つめのタイプは本川と後背水域の間に標高の高い微地形がない場合である。2つめのタイプは、本川と後背水域の間に標高の高い微地形が存在し、この微地形の存在が従来の方法による冠水時算定流量大きくしているタイプである。この2タイプ間の冠水頻度の差は後背水域への冠水を考える場合に、出水時流路の存在を考慮していないために生じると考えられる。

この結果から、後背水域への冠水を考える場合には河道内の微地形の形状、分布を理解し、河川を横断面的な観点のみで考えるのではなく、空間的な広がりを持った観点から水の流れを理解する必要があることがわかる。

本手法の適用に関する留意点

この方法は河道内微地形が変化しないことを前提にしているが礫を主体とする河川においては15年間以下の出水については適用が可能と考えられる。後背水域のような河道内に生じる窪地上の微地形の自然的変化は、河道形状の大規模な変化及び砂など細粒分の堆積により生じると考えられる。

河道の大規模変化は代表粒径に対する無次元掃流力 τ^* が概ね 0.06 に達し、河床材料が全面的に移動を開始する場合に起こると考えられる。尚、過去の空中写真や出水時の流量から推定すると、千曲川では低水路の位置が大規模に変化する出水が1948年～1998年の50年間で3回程度、およそ15年に1回程度の頻度で生じている。

後者は、出水時に流水とともに比較的細かい土砂が後背水域内に運搬されることにより生じ、後背水域内の河岸形状、植生、底質等ハビタットの要素がある程度変化する場合に生じ、長期的に見ると後背水域の埋没や消滅を招く可能性がある。千曲川の場合ではその速度は遅く、研究対象地域については、このような過程で消滅した後背水域は1986年～1998年では存在しなかった。以上、河道内微地形の変化を引き起こす2つの要因の時間的特徴を分析すると、本手法は15年間程度以下の冠水頻度の推定に対して十分適用可能と考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、建設省北陸地方建設局千曲川工事事務所から多くの資料の提供、貸与をいただいた。また、これらの資料解析にあたり建設省土木研究所河川部河川研究室服部敦研究員から多大なご支援をいただい

Fig. 8. Relationship between the flows estimated by this research method and conventional way. The eleven backwaters are classified into two groups from the viewpoint of the difference between two flows. Two flows are almost same in the group 2, but the flow estimated by the way of this research is lower than by the conventional way in group 1. The reason of the difference in group 1 relates to the flooding stream influence upon or not. We need to consider river morphology based on three dimensional data in order to estimate flooding frequency of backwater correctly.

た. ここに深く感謝の意を表します. 尚, 本研究は河川生態学術研究会千曲川グループの研究の一環として行われた.

摘 要

千曲川中流域の後背水域を対象に詳細な地形図を用いた簡便な冠水頻度算定方法の提言と検証, 水位上昇に伴う後背水域の冠水形態についての考察を行った.

今回提言した手法により, 各後背水域の地形的な特徴と水位上昇の程度により冠水形態が異なること, そして, 冠水頻度は冠水形態によって異なること, が明らかになった. 特に, 出水時流路による冠水形態は現象が三次元的であり, 得られた冠水頻度は, 河道断面における地形と水面の比高差といった二次元的な情報のみから算定した結果と大きく異なることが明らかになった. 今後, 後背水域への冠水を考える場合には, 河道内地形を三次元的に捉えることが必要である.

引用文献

- 阿久津政巳・島谷幸宏・鈴木興道 (1994) ワンドにおける魚類の生息実態に基づいたワンド計画手法に関する研究. 土木学会第 49 回年次学術講演会概要集: 208-209.
- Hawkins C. P., Kershner J. L., Bisson P. A., Bryant M. D., Decker L. M., Gregory S. V., McClough C. K., Overton C. K., Reeves G. H., Steedmen R. J. D. & Young M. K. (1993) A hierarchical approach to classifying stream habitat feature. Fisheries 18: 3-12 In: Methods in stream ecology (Richard Hauer F. and Lamberti. G eds.), pp. 32-39, Academic Press, London.
- 萱場祐一・傳田正利・島谷幸宏 (1997) 千曲川におけるワンドの実態とその特徴に関する基礎的研究. 土木学会環境システム論文集 vol. 25: 611-614.
- 建設省近畿地方建設局淀川工事事務所河川環境課 (1992) 平成のワンドづくり 人と自然にやさしい川づくりセミナー論文集: 104-110.
- 根来健一郎・後藤敏一・傍島直樹・稲垣克巳 (1976) 淀川の汽水水域のワンドにおける魚類, Plankton, 及び Benthos の種類構成に関する報告 (第 1 報): 102-105.
- 冷水俊郎 (1980) 淀川の“ワンド”. 淡水魚 6: 104-107.
- Roux, A. L (1982) Cartographic polythematique appliquee a la gestion ecologique des caus: etude dun hydrosysteme fluvial In: The new Rivers and Wildlife Handbook (D. Ward, N. Holmes & P. Joseeds.) pp. 12-

- 15, KPC Group. London.
- Schiemer F. (1985) Die Bedeutung von Augewasseern als Schutzzonen für die Fishfauna. Oesterr Wasser wirtsch, pp 239-245.
- 島谷幸宏 (1997) 多自然型川づくり 24 淀川. FRONT, 1997 年 3 月号 : 62-65.
- Sullivan K. (1986) Hydraulic and fish habitat in relation to channel morphology. PhD dissertation, The Johns Hopkins University, Baltimore.
- 上田 穰 : ワンド淀川の治水技術 - : 大阪春秋 16 (2) : 29-33.
- 山根哲郎 (1991) 平成の「ワンド」づくり. 多自然型川づくり シンポジウム講演論文集 : 49-54.