

論文

余笹川流域の 1998 年水害の発生構造について

上野 鉄男 *

On the occurrence mechanism of the Flood Disaster in the Yosasa River Basin in 1998

Tetsuo UENO *

Abstract

Severe flood disaster occurred in the Yosasa River basin due to heavy rainfall on August 27, 1998. The discharge of flood flow was about four times as large as the average conveyable capacity of the river channel in the investigated reach. In this paper, the cause of new channels formed by the flood flow was discussed on the basis of the field survey and aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasa River. It was cleared that the new channels were formed in the place where curved river channels were extremely narrow and this kind of disaster is related to land use around curved river channels. The author arrived at the conclusion that the cause of disaster is in the following points; ① the record rainfall and discharge of flood flow, ② the characteristics of flood plains in valley and river channels, ③ land use around river channels, and ④ poor maintenance of the river.

キーワード：山地河川，洪水災害，超過洪水，航空写真，土地利用

Key words: mountainous river, flood disaster, excess flood, aerial photographs, land use

1. はじめに

最近，山地河川において激甚な水害が目立つようになった。そのような水害として，本研究で検討している 1998 年の余笹川水害，2003 年

の北海道豪雨災害における厚別川の水害（長谷川，2004），2004 年の福井豪雨災害における足羽川山地流域の水害（宇治橋・広部，2004；小高・他，2005；上野・石垣，2005），2004 年の台風

* 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本論文に対する討論は平成 18 年 5 月末日まで受け付ける。

23号による由良川の水害（辻本・井上，2004）などが挙げられる。山地河川の流域には人口が少ないため、河川改修が遅れており、流域を未曾有の豪雨が襲うと、激甚な水害が発生することになる。

余笹川流域においては、1998年8月に記録的な豪雨が発生し、余笹川上流の那須観測所では1日最大雨量640 mm/日、連続雨量（約5日）1,254 mmの降雨が記録された。このため、主要な河道の平均的流下能力の4倍前後という未曾有の洪水が発生し、氾濫流が谷底平野いっばいに広がって流下した。余笹川流域の谷底平野は火山性の堆積土砂に覆われているため、洪水流が河道の側方を侵食して流路が大きく拡大され、氾濫流によって農地内に新しい流路が形成されて、激甚な被害をもたらされた。

余笹川の1998年水害に関して、これまで中川・他（2000）、伊藤・他（2000, 2001）、館・他（2001）、佐藤（2001）および栗山・他（2004）によって調査研究がなされた。中川らは現地調査と災害前後の航空写真をもとにして東北自動車道より上流において1998年洪水による余笹川の河道変動について検討し、同時にタンクモデルによる流出解析から得られたハイドログラフを用いて河道変動解析を行った。伊藤らは流路幅の拡大と新流路の形成、これらに伴う土砂生産と流木生産が1998年洪水の重要な特徴であること、多くの場合に蛇行部で洪水流のショートカットによって新流路が形成されたことを指摘した。また、新流路は洪水時の主流と洪水前の流路との不一致によって形成されたと説明し、横侵食の実態を定量的に示した。館らは防災樹林帯の効果に関して検討し、多くの家屋が上流側に杉や竹の樹林を有しており、樹林の密度が疎であるか密であるかが樹林と家屋が流失するかどうかを決定することを指摘した。佐藤は被害と土地環境との関連に注目して、寺子地区、沼野井地区および稲沢地区の災害実態を詳しく調査した。しかし、新流路の形成に関しては十分な説明がなく、「洪水が谷底平野のほぼ全域を浸水させ、洪水流が直進したために新流路が形成された」

と述べているだけである。栗山らは国道4号橋梁の上下流の河床変動と河岸侵食について、現地調査、模型実験、数値解析を用いて検討し、上流からの掃流土砂量が大きく、河道条件により河床上昇が発生するような箇所では、流心の移動によって河岸の侵食が引き起こされることを明らかにした。

これらの研究のうち伊藤らおよび佐藤の研究が本研究と関わりが深いが、新流路の形成原因については明確になっておらず、さらに詳しい検討が必要である。著者（2003, 2004）は新流路の形成に注目して、余笹川流域の水害実態を詳しく調べて報告した。

本研究は、余笹川流域の水害の実態を検討することによって、山地河川の水害の発生構造を明らかにし、治水対策を講ずるための基礎資料を提供しようとするものである。

2. 研究の方法

本研究においては、余笹川と黒川との合流点を基点として河道に沿って距離標を設定し、余笹川では黒川合流点から四ツ川合流点までの約13 km、黒川では余笹川合流点から境橋までの約29 kmの区間を調査対象範囲とした。

現地調査においては、1998年11月に予備調査、2001年12月に詳細調査、2003年3月に補足調査を行った。

また、余笹川および黒川の災害前後の航空写真を立体視して河道の側方侵食や新流路の形成状況を把握した。なお、災害前の航空写真は1996年3月に、災害後のそれは1998年9月10日に栃木県の依頼により日研測量株式会社によって撮影されたものである。

さらに、明治42年以後の古い5万分の1の地図を用いて、余笹川の河道変遷について調べた。

なお、被害の発生状況の地域特性や各河川の河床勾配などの自然条件、さらには農地の整備状況や交通などの社会条件を考慮して、調査対象範囲を余笹川の場合には①棒川合流点より下流区間（0.0～5.3 km区間）、②棒川合流点より上流区間（5.3～12.7 km区間）の2区間、黒川

の場合には③余笹川合流点から豊富橋までの区間 (0 ～ 9.7 km 区間), ④豊富橋から JR 橋までの区間 (9.7 ～ 20.3 km 区間), ⑤ JR 橋から境橋までの区間 (20.3 ～ 28.8 km 区間) の 3 区間に分けて水害発生地域特性について考察した。なお, 後述する図 1 において, 上記の①～⑤の各区間の両端に○をつけた。

3. 余笹川流域の特徴

3.1 余笹川流域の概要と河道の流下能力

余笹川は一級河川那珂川の支流であり, その流域面積は 343.5 km^2 , 幹線流路延長は 37.5 km^2 である。余笹川流域は余笹川と黒川とに分かれ, 黒川流域は黒川と三蔵川とに分かれる。黒川

との合流点より上流の余笹川の流域面積は 127 km^2 , 三蔵川との合流点より上流の黒川の流域面積は 98 km^2 である。余笹川流域の概要を図 1 に示す。図においては, 本論文中で述べられている橋梁名と等高線などが記入されている。

調査対象範囲においては, 余笹川と黒川は標高 300 ～ 500 m の丘陵に囲まれた谷底平野を蛇行しながら北から南へ流下している。谷底平野の幅は 100 ～ 500 m (平均 300 m) で, 下流ほど幅が広い。

災害前の余笹川は未改修河川であり, 河川の幅が場所ごとに大きく変化していたが, 2001 年に災害復旧事業による河川改修が完了した (三品・他, 2002; 須賀・他, 2005)。本事業におい

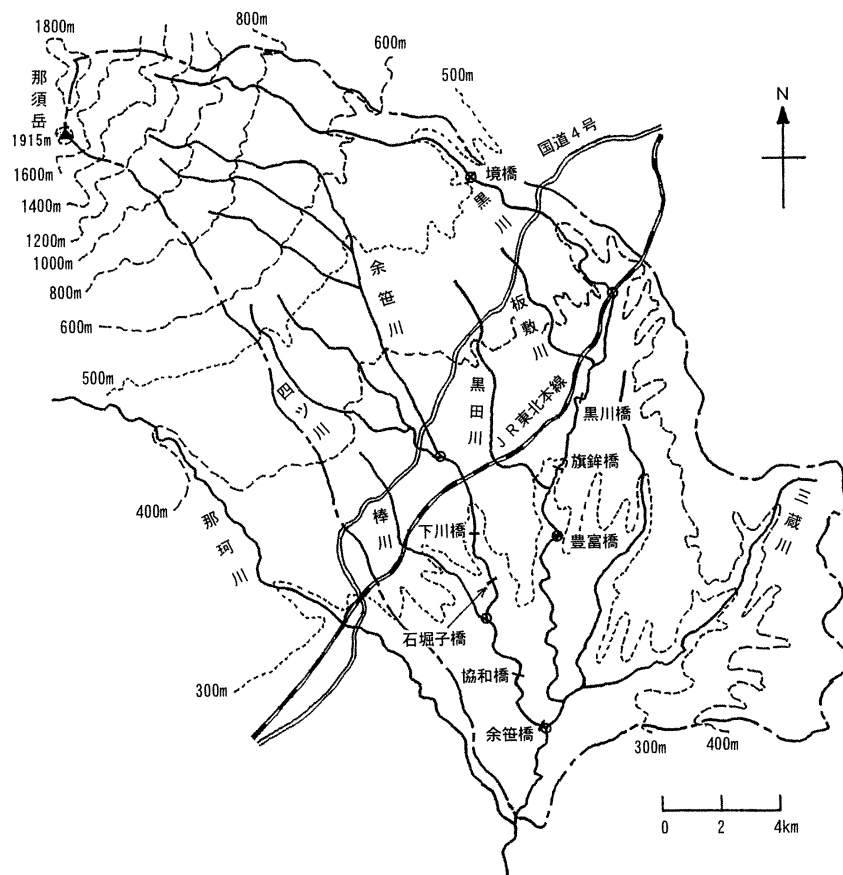


図 1 余笹川流域の概要

ては、計画規模が1/50とされ、計画高水流量が実績洪水流量よりもかなり小さかったため、県費（事業費全体の10%程度）を使って超過洪水に対して「被害を最小化」する対策が実施された（高山，2002）。また、河川改修に当っては、自然に配慮した川づくりがなされ、河道幅が災害前の約1.5倍に、河川断面積が約2倍になり、蛇行部においては湾曲が緩和された。

余笹川は、災害前には一部の区間で小規模の堤防があったが、ほとんどの区間で堤防がなく、掘り込み形状の河川であった。小規模ながらも堤防があった区間は、余笹川では砂の目地区の協和橋上下流左岸の約280 mの区間、協和橋上流右岸の約430 mの区間、赤沼地区の上流側左岸の約420 mの区間、黒川では下黒川地区の新幹線橋梁の下流左岸の約1,150 mの区間、稗返地区の境橋下流左岸の約170 mの区間、境橋下流右岸の約560 mの区間である。これらの区間の合計は3,000 m程度であり、これは調査区間の河道の左右岸の総延長の約3.6%に相当する。

栃木県（1999）の「余笹川災害復旧事業計画書」によると、余笹川と黒川の合流点上流の両

河川の河道の流下能力（堤防あるいは護岸の満杯流量）と1998年水害時の洪水のピーク流量は表1および表2に示すようである。これらの表においては、区間ごとに洪水のピーク流量と区間平均の河道の流下能力が示されており、調査区間における洪水流量は河道の平均的な流下能力の4倍前後であった。なお、余笹川と黒川の合流後の洪水のピーク流量は2,720 m³/secであった。

3.2 河床勾配

余笹川と黒川の河道周辺の平地の標高を1/25,000の地図の等高線を用いて求め、両河川の河床勾配を計算した。

図2に余笹川と黒川の河道の縦断形状を示す。本図から、概略的には黒川の河床勾配の方が余笹川のそれよりかなり小さいことがわかる。

余笹川と黒川の合流点からの河道累加距離に対する河床勾配を図3に示す。本図から、余笹川の河床勾配は大局的には上流ほど大きくなっているが、棒川合流点（5.3 km地点）を境にしてその下流で河床勾配が小さいこと、国道4号余笹橋（14 km地点）より上流で河床勾配が急激に大きくなっていることがわかる。一方、黒

表1 余笹川の河道の平均流下能力と洪水流量（栃木県（1999）による）

区 間 (km)	0.0～5.3	5.3～12.7	12.7～16.6
流下能力 (m ³ /sec)	400	400	270
洪水流量 (m ³ /sec)	1,740	1,720	1,340
洪水流量/流下能力	4.35	4.30	4.96
備 考	黒川合流点～棒川合流点	棒川合流点～四ツ川合流点	四ツ川合流点より上流

表2 黒川の河道の平均流下能力と洪水流量（栃木県（1999）による）

区 間 (km)	0.0～1.2	1.2～11.8	11.8～17.2	17.2～29.0
流下能力 (m ³ /sec)	360	250	200	140
洪水流量 (m ³ /sec)	1,360	810		680
洪水流量/流下能力	3.78	3.24		4.86
備 考	余笹川合流点～三蔵川合流点	三蔵川合流点～黒田川合流点	黒田川合流点～板敷川合流点	板敷川合流点より上流

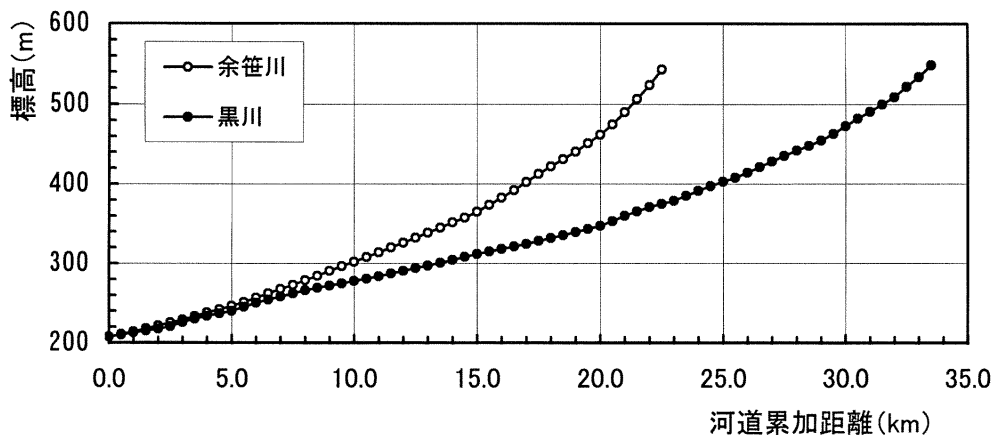


図2 余笹川と黒川の河道の縦断形状

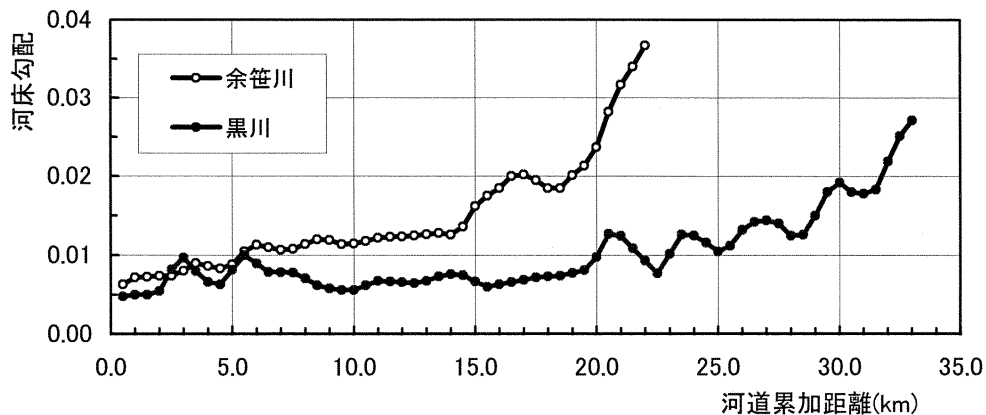


図3 河道累加距離に対する河床勾配の変化

川の河床勾配は余笹川より小さく、8.5～19.5 km 区間における河床勾配がその下流よりも小さいこと、20 km 地点より上流では河床勾配が相対的に大きくなっていることがわかる。

3.3 谷底平野の特徴

黒川の三蔵川合流点(1.2 km 地点)から豊富橋(9.7 km 地点)までの区間においては、写真1および写真2に示すように、特徴のある谷底平野の形態が見られる。ここでは、河道湾曲部の内岸側に地盤高が低い農地が河道に沿って帯状に連なっており、災害時には地盤高が低い帯状の農地を氾濫流が流下したために、相対的に被害が小さくなった。他の場所では農地が洗掘

される被害が多く発生したのに対して、地盤高が低い帯状の農地には流送土砂が堆積して、写真では白く写っている。

このような谷底平野が形成された区間に関して、明治42年に作成された地図と最近作成された地図との比較から、河道の移動を調べた。図4の上側の1/3は平成6年発行、下側の2/3は平成8年発行の5万分の1の地図であり、主要な河道が太い実線で示されている。図には、明治42年作成の地図にある旧河道が破線で記入されており、旧河道が最近の河道とはほぼ一致している場所では破線がない。図には、余笹川と黒川の合流点を基点として、河道に沿う距離標(km)が数値で示されている。本図から、この



写真1 黒川の3.8～5.8 km区間の災害後の航空写真（上が上流）

約86年間に河道が2.3 km地点付近で100 m下流へ、3.2 km地点付近で30 m東へ、5.0 km地点付近で30 m東へ、5.5 km地点付近で30 m西へ、7.4 km地点付近で100 m下流へ移動し、上記の区間のその他の地点では河道の移動がほとんどないことがわかった。

以上の実態から、この区間においては、蛇行河道を流下する洪水流が河道湾曲部の外岸側と河床を侵食することにより、蛇行河道が谷底平野内を徐々に下流あるいは横方向へと移動し、このような河道の移動に伴って、河道湾曲部の



写真2 黒川の6.5～8.0 km区間の災害後の航空写真（上が上流）

内岸側に低い土地が新たに形成され、現況の谷底平野の形態が造りだされたと考えられる。

一方、黒川の豊富橋より上流においては、谷底平野内の土地と河川との相対高さはほぼ一様で、段差がほとんどない。余笹川のJR橋（11.25 km地点）から下流においても、黒川の豊富橋より上流と同様に谷底平野内の土地と河川との相対高さはほぼ一様である。明治42年作成の地図と最近作成の地図との比較から、これらの区間では河道の移動が黒川の三蔵川合流点から豊富橋までの区間よりもかなり大きいことが確認された。余笹川の調査区間と黒川の豊富橋より上流の一部の区間における過去約86年間の河道の移動状況は、図4に示されている。以上の実態から、これらの区間においては、谷底平野内を河道が広範に移動を繰り返して、谷底平野内の土地の高さを一様化したため、現況の平坦な谷底平野の形態が形造られたと考えられる。

上記のような河道の移動における違いは土砂移動を支配する河床勾配の違いによって生じると考えられる。



図4 過去約86年間の河道の移動

一般に河川の河床勾配は上流から下流へと行くにつれて小さくなるが、この場合には洪水によって運ばれる土砂が河道とその周辺に堆積し、河道が移動しやすい条件が作られるので、河道の広範な移動により谷底平野の土地の高さが一様化されると考えられる。黒川の三蔵川合流点から豊富橋までの区間を除く余笹川流域の谷底

平野はこのような条件の下で形成されたと考えられる。

黒川の三蔵川合流点から豊富橋までの区間の谷底平野の形成条件を考察すると、図3に示すように、この区間の上流側は河床勾配がこの区間よりも小さくなっていることが注目される。上記の実態に基づいて、以下のような推論をした。この区間の上流側の河床勾配が小さい場所ではさらにその上流から流送されてくる土砂が堆積しやすくなり、そこで堆積せずに下流へ流下する土砂の粒径は相対的に小さく、流下する土砂の量が少なくなると推察される。三蔵川合流点から豊富橋までの区間は上流側よりも河床勾配が大きく、粒径が相対的に小さい土砂が上流からそこへ流送されると考えられるから、この区間では土砂が堆積し難い。このために、この区間では河道の移動が小さくなり、同時に河床が洗掘されて、特徴的な谷底平野の形態が造りだされると推察される。

3.4 谷の勾配

以上においては、谷底平野の形態を河床勾配と関連づけて説明したが、河道は年月が経過すると変遷するから、河道よりも変化が小さい谷底平野の勾配と関連づけて谷底平野の形態を説明する方が合理的である。

以下の方法で谷底平野の中央線に沿う勾配を求めた。災害前の航空写真を立体視して谷底平野と丘陵地との境界を定め、境界線の細かい出入りを平均化した上で、谷底平野の中央線を描いた。余笹川と黒川の谷底平野の標高を1/25,000の地図の等高線を用いて求め、各等高線間の標高が谷底平野の中央線上の距離に比例して変化するものとして各地点の標高を計算した。谷底平野の中央線上の距離1kmに対する標高差から、各地点の谷底平野の勾配を計算した。両河川の合流点からの谷底平野の中央線に沿う累加距離に対する谷の勾配を図5に示す。調査区間の上流端である余笹川の四ツ川合流点および黒川の境橋に対する谷の累加距離はそれぞれ11.45 km および 25.1 km になる。調査区間

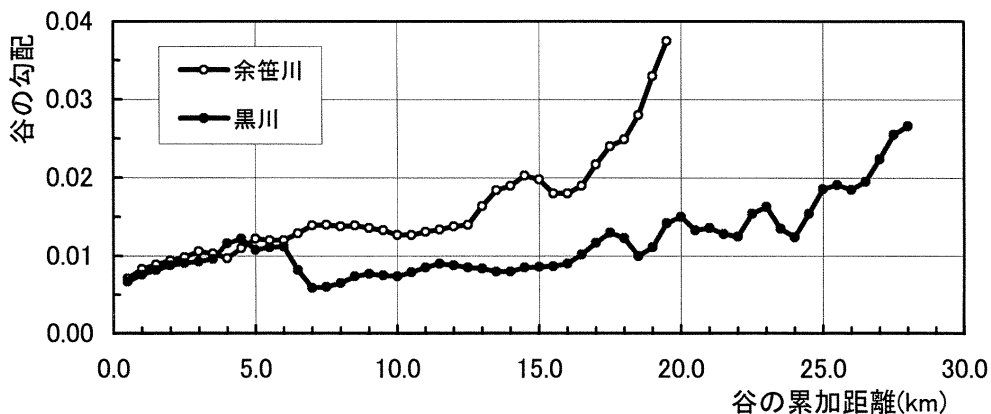


図5 谷の中央線の累加距離に対する谷勾配の変化

の河道の距離は谷の距離より余笹川では 10.9%，黒川では 15.5% 大きい。黒川の方が蛇行が激しいと言える。

本図と図3とを比較すると、谷勾配は河床勾配より若干大きい、両河川のほとんどの区間で谷勾配が河床勾配の変化とよく対応していることがわかる。両者の対応が悪いのは黒川の中野川橋（谷の累加距離で 6.2 km 地点、河道累加距離で 8.0 km 地点）から下流の区間であり、ここでは谷勾配がかなり大きい。この区間のうち、河道累加距離で 3.8～5.8 km 区間と 6.5～8.0 km 区間では河道の蛇行が激しいために、河床勾配が谷勾配より小さくなったと考える。これらの区間の河道の状況は写真1および写真2に示されている。

図5においては、黒川の中野川橋から上流の区間がその下流の区間より谷勾配はるかに小さくなっており、このことが黒川の下流部で特徴的な谷底平野の形態が造りだされた原因であると考えられる。

ここで、黒川の谷勾配について考察する。流域の地質や地形などが谷勾配に影響すると考えられるが、黒川の場合には大局的な地形に対する谷の方向が重要であると考えられる。図1における等高線からわかるように、余笹川と黒川は北西の端にある標高 1915 m の那須岳付近を源流

とし、那須岳の東南斜面を流下している。黒川はこの斜面上を方向を変えながら流下しており、黒川の上流区間は斜面の最急勾配に近い東南東ないし東南方向に流下するために谷勾配が大きい。JR 橋から下流では黒川は流向を南南西方向に変え、斜面を斜め方向に流下するために谷勾配が小さくなる。豊富橋付近から下流では流向を勾配の大きい南の方向に変えて流下するため谷勾配が相対的に大きくなる。三蔵川合流点から下流では、流向を南南西方向に変えるために、谷勾配が小さくなると考えられる。なお、18.5 km 地点で谷勾配が上下流より小さいが、この付近で黒川は僅かな距離ではあるが、南西方向、すなわち斜面を横方向に流下している。

4. 余笹川流域の水害の特徴

1998 年 8 月洪水では谷底平野で大規模な氾濫が発生し、洪水流によって流路が大きく拡大されると同時に、農地内に新しい流路が形成されて、激甚な被害がもたらされた。とりわけ、農地内に新流路が形成される場合の被害は深刻であり、調査区間において 21 箇所で見逃されなかったが、それらのうち河道湾曲部をショートカットする流れによるケースが 15 箇所を数えた。これらのうち、被害が顕著であった箇所について以下に述べる。

4.1 新流路の形成について

(1) 余笹川の砂の目地区の被災状況

写真3の上半分に示すように、余笹川の協和橋(2.25 km 地点、流失)の上流で河道が右へ湾曲している場所では、湾曲部をショートカットする氾濫流によって内岸側の農地に3つの新流路が形成され、新流路の経路にあった住宅と牛舎一棟が流失した。写真においては災害前の河道の位置が太い実線で示されている(以下同様)。この付近では、もとの河道の湾曲部の外岸側は河岸段丘にぶつかっている。湾曲部の河道の内岸側には土砂が堆積するが、ここを整備して農地として利用していたため、河道が極端に狭くなっていた。湾曲頂点付近の河道幅は33 mであり、栃木県(1999)によると、この周辺の河道の流下能力は180 m³/secであった。この値は災害前の余笹川の平均的流下能力400 m³/sec



写真3 余笹川の砂の目地区の被災状況(上が上流)

の1/2以下であり、洪水のピーク流量1,740 m³/secのおよそ1/10である。この上流側で洪水が大量に溢れることは必然であり、氾濫流によって農地が侵食されて新流路が形成された。

その下流の協和橋付近では河道が左へ湾曲しているが、氾濫流によって内岸側の農地に新流路が形成され、この経路にあった住宅が流失した。ここでは災害前の河道の湾曲部の外岸側は河岸段丘にぶつかっており、内岸側の土砂堆積部を農地としていたため、湾曲頂点付近の河道幅(32 m)がかなり小さくなっていた。この周辺の河道の流下能力は240 m³/secであった。

(2) 黒川の追田原地区の被災状況

写真4の上半分に示すように、黒川の無名橋(16.35 km 地点)の下流で河道が右へ湾曲している場所では、氾濫流によって湾曲部の内岸側の農地に新流路が形成された。ここでは災害前の河道の湾曲部の外岸側は河岸段丘にぶつかっており、湾曲の頂点付近では河道幅(20 m)が極端に小さかった。



写真4 黒川の追田原地区の被災状況(上が上流)

その下流の黒川橋（15.9 km 地点）の下流で河道が左へ湾曲している場所では、氾濫流によって湾曲部の内岸側の農地に新流路（少し浅いため写真では白く写っている）が形成された。湾曲の頂点付近では河道幅（22 m）が極端に小さかった。

（3）黒川の境橋下流の被災状況

写真5に示すように、黒川の境橋（28.8 km 地点）の下流で河道が右へ湾曲している場所では、氾濫流によって湾曲部の内岸側の農地に新流路が形成された。湾曲の頂点付近では河道幅（17 m）が極端に小さくなっており、農地の侵食は河道からかなり離れた場所にまで及んだ。

（4）上記と異なるパターンの水害

上記と異なるパターンの新流路が6箇所で形成されており、それらの水害の発生状況について簡単に記述する。

余笹川の最下流部にある余笹橋（0.1 km 地点）

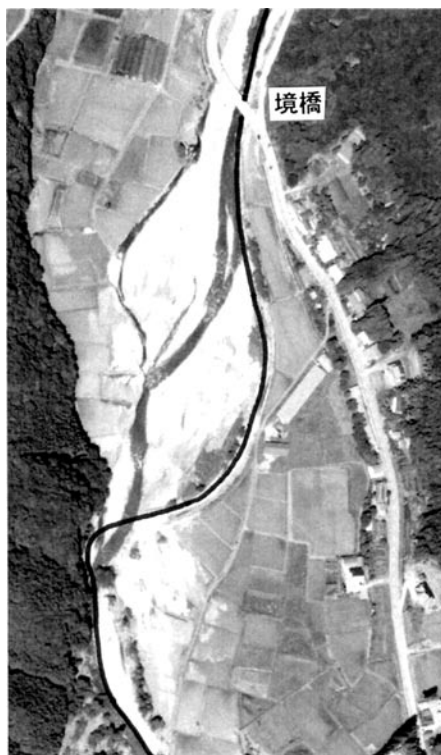


写真5 黒川の境橋下流の被災状況（上が上流）

は洪水時に多量の流木などがかり、洪水の流下を阻害したため、橋の右岸側を流下した氾濫流によって広い新流路が形成され、住宅が流失した。災害前の航空写真から判断すると、新流路が形成された場所は旧河道であり、土地が周辺よりも低かった。

余笹川の石堀子橋（6.45 km 地点）の下流では、河道直線部から湾曲部の外岸側へ直進しようとする流れが外岸側の農地を侵食して新流路が形成され、新流路もとの河道との間は河原となった。

余笹川の下川橋（8.65 km 地点）下流右岸では、氾濫流によって河道からかなり離れた場所まで侵食されて新流路が形成された。これは下川橋上流の湾曲部で形成された新流路の流れがもとの河川に合流後も直進したために形成された。この新流路の経路は相対的に標高が低く、旧河道であったと考えられる。

上記の災害の状況に関しては、著者（2003）の研究において詳しく述べた。

黒川の旗鉾橋（12.8 km 地点）の上下流は河道の湾曲は緩いが、上流側で河道が側方侵食されて流路の位置が変わり、下流側では新流路が形成された。この周辺の被災状況を**写真6**に示す。この周辺の河道は災害前に改修されており、河道幅（25～28 m）が小さく、新流路の流入部は明治42年の地図にある河道とほぼ一致する。

黒川の14.4～14.9 km 区間で河道が左へ湾曲する場所では、河道直線部から湾曲部の外岸側へ直進しようとする流れが外岸側の農地を侵食して小規模の新流路を形成した。

黒川のJR橋の下流の19.8～20.3 km 区間では、河川周辺に農地として利用されていない土地が広がっており、**図3**に示すように、この区間は河床勾配が急激に小さくなる変化点に当り、河川の制御が困難な場所であるようである。ここでは、河道周辺の農地や利用されていない土地を洪水が侵食して、広い河原ができた。

上記の災害の状況に関しては、著者（2004）の研究において詳しく述べた。

以上のように、河道直線部から湾曲部の外岸

側へ直進しようとする流れが農地を侵食して新流路が形成されたケースが2例あるが、このようなケースが予想に反して少ないことが注目される。その他に、橋梁に関わる問題、氾濫流の直進、狭い改修河道などが原因となるケースがあったが、新流路の形成場所が旧河道に関係していたという共通点があったことが注目される。

以下においては、河道湾曲部をショートカットする氾濫流による被害について検討する。

4.2 湾曲部における河道幅と水害

前節の考察から、河道湾曲部の内岸側の農地に新流路が形成されるケースでは、共通して湾曲の頂点付近の河道幅が小さいことがわかった。そのことと対比するために、ここでは湾曲部の河道幅が大きい場合の被害状況を考察する。

(1) 湾曲部の河道幅が大きい場合

法師畑の集落 (6.8 km 地点) の上流側で河道



写真6 黒川の旗鉾橋上下流の被災状況 (上が上流)

が右へ湾曲している場所では、湾曲部の河道幅 (92 m) が大きくなっており、河道の内岸側に土砂が堆積していたが、洪水によって河道外岸側の樹林地の側方侵食が進むと同時に、河道内の内岸側河岸ぎりぎりに新しい流路が形成された。農地にはかなりの氾濫流が流下して土砂の堆積があったものの、農地は洗掘されず、被害は小さかった。この湾曲部周辺の河道の流下能力は $400 \sim 600 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。この周辺の被災状況を写真7に示す。

この教訓は湾曲部の治水対策に活かされるべきである。すなわち、河道湾曲部の河道幅を大きくすることが重要である。このようにした上で、中小洪水によって内岸側に土砂がたまる場合には、内岸側の土砂を排除して内岸側に適当な流路を造ると、大洪水時に主流が内岸側を流下し、外岸側の護岸や堤防が安全になる。同時に、洪水の流下に伴って上記の流路が拡大されて河道の流下流量が増加し、氾濫を伴うような超過洪水の発生に対して安全性が相対的に高くなる。

(2) 湾曲部の河道幅がある程度大きい場合

協和橋 (2.25 km 地点) の下流側で河道が右へ湾曲している場所では、内岸側の農地で新流路の形成には至らなかったが、氾濫流によって



写真7 法師畑の上流側の湾曲部の被災状況 (上が上流)



写真8 協和橋の下流側の湾曲部の被災状況（上が上流）

住宅が流失し、農地が洗掘されてかなりの被害が発生した。この周辺の被災状況を写真8に示す。この湾曲部の河道幅（50 m）はある程度大きかったが、河道の内岸側にはかなり広い範囲にわたって樹林帯があり、これが流路を狭めて流れの障害になっており、この周辺の河道の流下能力は $180 \text{ m}^3/\text{sec}$ と評価されていた。洪水後の航空写真においては、この樹林帯が部分的にしか残っていないことが確認できる。洪水時に時間の経過と共に河道内の樹木や土砂が流失したため、かなりの流量が河道内を流下したと考えられる。湾曲部の河道幅がある程度大きい場合には、被害はそれほど大きくならないことがわかった。上記のように、洪水によって河川の断面積が拡大されて流下能力が増大するので、余笹川の場合に被害の程度を決めるのは、災害

前の河道の流下能力であるとするよりは、河道幅であるとする方が適切であると考える。

以上の検討結果を総合すると、湾曲部の河道幅が大きい場合には被害が小さく、河道幅が小さい場合に新流路が形成されて大きな被害が発生すると言える。

4.3 河道湾曲部における水害の特徴

以上の考察に基づいて、余笹川の18箇所と黒川の55箇所の河道湾曲部に関して、被害状況を調べた。その結果、河道湾曲部の曲がりの角度が65度以下の場合には河道幅の大小に関わらず被害が小さく（上野, 2003, 2004）、大きい被害が発生したのは曲がりの角度が70度以上の場合であったことがわかった。したがって、曲がりの角度が65度以下の場合（余笹川で5箇所と黒川で29箇所）を除いた余笹川の13箇所と黒川の26箇所の河道湾曲部に関して、被害状況を以下に述べるA, B, Cの3段階に分けて評価し、それぞれが湾曲頂点付近の河川の状態とどのように対応するかを検討した。ここで、湾曲内岸側の農地に新流路が形成されて大きな被害が発生した場合をA、顕著な新流路の形成はないが、湾曲内岸側の農地が洗掘されて中程度の被害が発生した場合をB、湾曲内岸側の農地の被害が小さかった場合をCとして、被害状況を3段階に分けた。

災害前の余笹川は未改修河川であり、河道が移動した跡が利用されずに残されている場所が多く、そこは隣接する農地よりも標高が低く、樹木が繁茂している場合が多かった。このような場合には、河道幅を確定することが困難である。同時に、今回の洪水では河道周辺にこのような利用されていない土地がある場合には、そこを洪水が流下して洗掘したりしたためにその周辺の被害が小さくなった。したがって、本研究においては、河道周辺の利用されていない土地を含む範囲を河川領域と定義し、上記のA, B, Cの3段階の被害実態が湾曲頂点付近の河川領域幅の小, 中, 大とどのように対応するかを検討した。

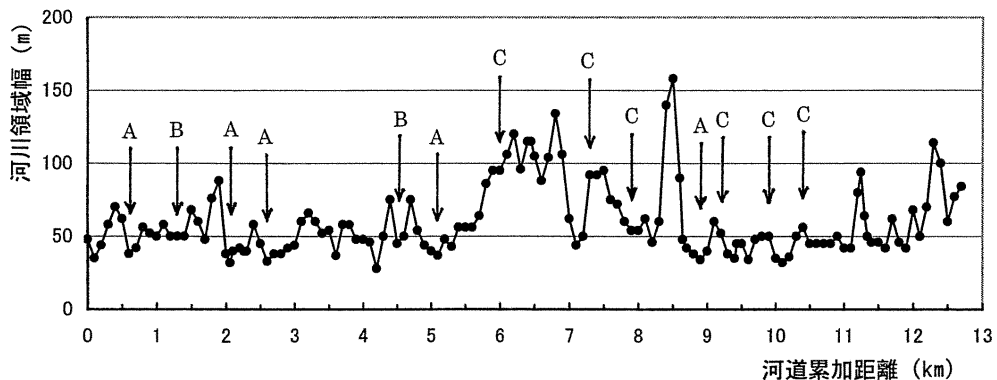


図6 余笹川の河川領域幅の変化

災害前の航空写真を立体視して、河道周辺の利用されていない土地が隣接する農地よりも標高が低い場合にそれを河川領域として確定し、調査区間の河川領域の幅を河道に沿って 100 m 間隔で読み取った。

(1) 余笹川の棒川合流点より下流区間

余笹川の河川領域幅の変化を図6に示す。図における矢印は河道湾曲の頂点である。矢印がない場所は谷幅が狭い場合や河道が直線的か、河道湾曲部の曲がりの角度が 65 度以下の場合である。矢印の上の A, B, C は被害状況を意味する（以下同様）。

余笹川の場合には、湾曲頂点付近の河川領域幅を小は 40 m 以下、中は 40 ~ 50 m, 大は 50 m 以上として検討した。

図より、棒川合流点 (5.3 km 地点) より下流区間では、合計 6 ケースのうち、被害状況 A は河川領域幅が小で 4 ケース、B は河川領域幅が中で 2 ケース発生し、C はなかったことがわかる。また、湾曲頂点付近の河川領域幅がその上下流の河道直線部のそれよりも小さくなっており、それに伴って被害の大きい箇所が多いことが注目される。

(2) 余笹川の棒川合流点より上流区間

図6より、この区間では、合計 7 ケースのうち、被害状況 A は河川領域幅が小で 1 ケース発生し、B は発生せず、C は河川領域幅が大で 6 ケースあったことがわかる。また、湾曲部の河川領域

幅は、その上下流の河道直線部の河川領域幅よりも大きくなっている場合が多く、8.9 km 地点付近の湾曲部を除くと、湾曲頂点付近の河川領域幅は 50 m 以上の大きな値になっているため、区間全体では被害が小さい。

以上から、余笹川においては湾曲頂点付近の河川領域幅が 50 m より大きい場合には被害が小さく、その幅が 40 ~ 50 m 程度の場合には中程度の被害が発生し、その幅が 40 m 以下の場合には湾曲内岸側の農地に新流路が形成されて大きな被害が発生しており、被害状況が湾曲頂点付近の河川領域幅によく対応すると言える。

(3) 黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間

黒川の場合には、流域面積が余笹川よりも小さいことを考慮して、湾曲頂点付近の河川領域幅を小は 30 m 以下、中は 30 ~ 45 m, 大は 45 m 以上として検討した。

この区間の河川領域幅の変化を図7に示す。図より、合計 9 ケースのうち、被害状況 A は発生せず、B は河川領域幅が小で 3 ケース（被害状況が河川領域幅に対応せず）、C は河川領域幅が中で 3 ケース（対応せず）、大で 3 ケースあったことがわかる。

この区間では顕著な新流路の形成はなく、被害状況が河川領域幅に対応しないケースが 6 ケースあり、この場合に被害が小さくなる方にずれていることが注目される。その理由は、この区間の谷底平野の形態にあると考える。先述

のように、この区間においては河道湾曲部の内岸側に地盤高が低い農地が河道に沿って帯状に連なっていた。このような地盤高が低い農地上を氾濫流が流下する際に、河川領域幅が小さい場合には低位農地を侵食した。そうすると、河道周辺を流下することができる洪水流量が増加して、その外側に氾濫する流量が小さくなり、湾曲内岸側の農地全体の被害が軽減された。一方、河川領域幅がある程度大きい場合（幅が30～45 m）には洪水水位が上昇して低位農地上を氾濫流が流下する段階では、河道とその周辺の低位農地上を流下することができる洪水流量が大きいため、低位農地を侵食することもなく、小さい被害にとどまった。上述の水害の実態は写真1および写真2に示されている。

(4) 黒川の豊富橋からJR橋までの区間

この区間の河川領域幅の変化を図8に示す。図より、合計10ケースのうち、被害状況Aは河川領域幅が小で4ケース、中で1ケース（対応せず）、Bは河川領域幅が小で1ケース（対応せず）、中で4ケース発生し、Cはなかったことがわかる。

被害状況と河川領域幅が対応しないケースが2ケースあるが、これらは以下のようなものである。

豊富橋（9.7 km 地点）付近で河道が右へ湾曲している場所では、河川領域幅（26 m）が小さかったが、湾曲内岸の農地内にある道路（氾濫流の流向とほぼ直交している）が周辺の農地よりも高く、湾曲部をショートカットする氾濫流の勢いを減じたために被害が小さくなった。

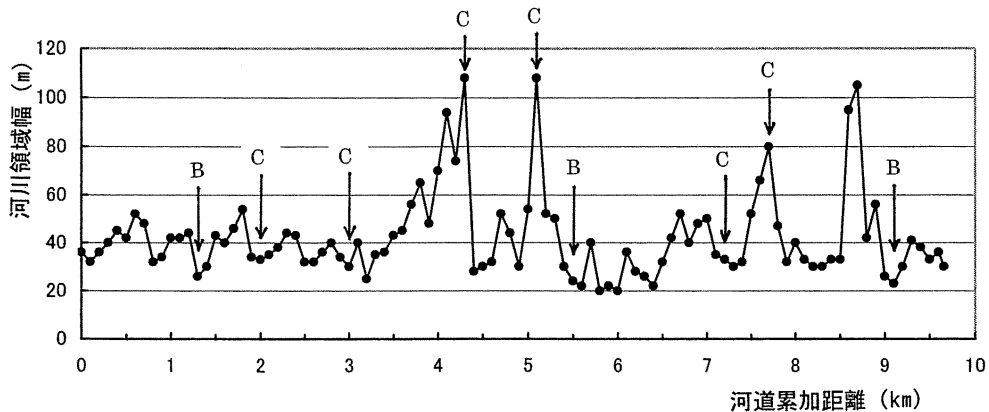


図7 黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間の河川領域幅の変化

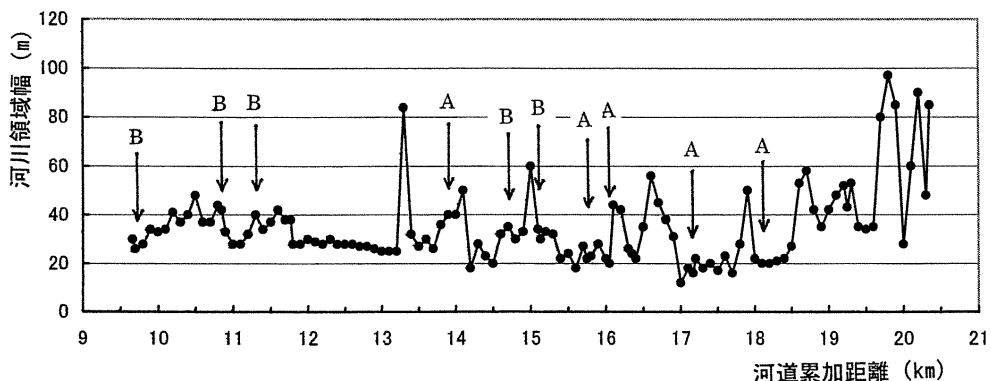


図8 黒川の豊富橋からJR橋までの区間の河川領域幅の変化

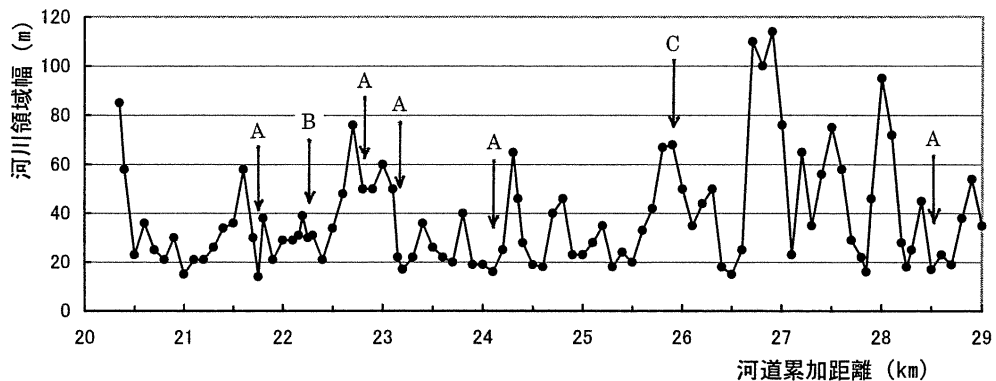


図9 黒川の JR 橋から境橋までの区間の河川領域幅の変化

13.6～14.0 km 区間で河道が右へ湾曲している場所では、河川領域幅(40 m)が比較的大きかったが、河川領域内に樹木が繁っていたために洪水の流下を阻害して、氾濫流によって内岸側の農地が広く洗掘され、新流路が部分的に形成されて大きな被害が発生した。図3からわかるように、この付近の河床勾配(0.0075)は相対的に小さかった。

(5) 黒川の JR 橋から境橋までの区間

この区間の河川領域幅の変化を図9に示す。図より、合計7ケースのうち、被害状況Aは河川領域幅が小で4ケース、大で1ケース(対応せず)、Bは河川領域幅が中で1ケース発生し、Cは河川領域幅が大で1ケースあったことがわかる。

被害状況と河川領域幅が対応しない1ケースについて述べると、短い距離の間に3箇所ある新幹線橋梁のうちの上流から第2番目の橋梁付近から第1番目の橋梁の少し上流までの河道が右へ湾曲している場所(22.6～23.0 km 区間)では、河川領域幅(50～60 m)が大きかったが、河川領域内に樹木が繁っていたために洪水の流下を阻害して、氾濫流によって内岸側の農地に新流路が形成された。図3からわかるように、この付近の河床勾配(0.0077)は相対的に小さかった。

今回の洪水では、黒川において河床勾配が相対的に小さい場合には、河川領域内の樹木が流

失せずに、洪水の流下を阻害して被害を大きくしたと言える。

(6) 水害の地域性

余笹川の場合は13ケース全てに関して被害状況が湾曲頂点付近の河川領域幅に対応した。一方、黒川の場合はほぼ2/3に相当する17ケースで対応したが、対応しないケースが9ケースを数えた。

対応しないケースについてまとめると、黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間においては谷底平野の形態が被害を軽減する効果を持つと言える。その他の区間では、河道の湾曲部内岸側の農地内の道路や河川領域内の樹木が、被害状況と河川領域幅が対応しない要因となっている。それらには地域性と特殊性が含まれている。

水害の地域性に関して整理すると、次のようである。

①被害状況Aについては、黒川のJR橋から境橋までの区間と余笹川の棒川合流点より下流区間で発生割合が高く、次いで黒川の豊富橋からJR橋までの区間と続く。余笹川の棒川合流点より上流区間での発生は1ケースのみであり、黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間では被害状況Aの発生はない。

②被害状況Aと被害状況Bを合わせた場合には、余笹川の棒川合流点より下流区間と黒川の豊富橋からJR橋までの区間で発生割合が100%とな

り、次いで黒川の JR 橋から境橋までの区間で発生割合が高い。黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間では被害状況 B の発生が 3 ケース、余笹川の棒川合流点より上流区間では被害状況 A の発生が 1 ケースあるのみである。

③被害状況 C については、余笹川の棒川合流点より上流区間で最も割合が高く、次いで黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間と続く。黒川の JR 橋から境橋までの区間では 1 ケースのみであり、余笹川の棒川合流点より下流区間および黒川の豊富橋から JR 橋までの区間では被害状況 C はない。

④以上を総合的に判断すると、大きな被害が発生した順番は、余笹川の棒川合流点より下流区間、次いで黒川の豊富橋から JR 橋までの区間、黒川の JR 橋から境橋までの区間と続き、黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間および余笹川の棒川合流点より上流区間では大きな被害が発生した割合が小さいと言える。

5. 水害の社会的側面について

5.1 湾曲部の河川領域幅と土地利用

一般的に言えば、河道湾曲部においては、河道の流下能力より小さい中小洪水、あるいは河道の流下能力と同程度の大洪水によって河道の外岸側が侵食されると同時に河道の内岸側には土砂が堆積して、河道は外岸側へ移動する。土砂が堆積して高くなった場所は農地として利用されるが、洪水で外岸側が侵食されるので、ある程度の河道幅が保たれる。ところが、湾曲部の外岸側が河岸段丘にぶつかるところまで河道が移動すると、その後の洪水によって外岸側はほとんど侵食されず、内岸側には土砂が堆積して、流路幅が減少する。この場合に、内岸側の土砂堆積部をどの程度まで利用するかが河道の流下能力を決定し、今回のような未曾有の大洪水が発生する場合の被害の大小を決定する。今回の洪水では、湾曲部の河川領域幅を小さくするような土地利用がなされていた場合に、湾曲内岸側の農地に新流路が形成されて激甚な被害が発生した。この問題は「土地利用と水害」の

関係を表していると言える。

以上、河道湾曲部における災害を単純化して述べたが、実際には多くはないが河道湾曲部の外岸側が必ずしも河岸段丘にぶつかっていない場所もあった。このような場所でも、湾曲部の河道幅を狭くするような土地利用がなされる場合があった。

5.2 農地整備の地域性

水害の実態を調べていくうちに、農地の整備が進んでいるところほど、湾曲部の河川領域幅を狭くするような土地利用がなされている場合が多いことがわかった。そこで、災害前の航空写真を用いて農地の整備状況を以下の 3 段階に分けて評価し、農地整備の地域性について考察した。

ア：よく整備されている。具体的には、谷底平野の農地が相対的に大きい長方形の区画に規則正しく分けられている。(写真 6 および写真 8 にこの整備状況が見られる。以下同様)

イ：ある程度の整備がなされている。具体的には、農地が部分的に整備されており、区画は小さい場合が多い。河道周辺の農地が整備されていない。(写真 1 の下半分)

ウ：整備が遅れている。具体的には、段差や旧河道などの地形が古いまま残された不規則な区画になっている。(写真 2 および写真 7)

河道に沿う距離で整理した農地の整備状況の評価の結果を以下に示す。

①余笹川の棒川合流点より下流区間：ア；4.1 km (地域の 77.3%)、イ；0.3 km (5.7%)、ウ；0.9 km (17.0%)

②余笹川の棒川合流点より上流区間：ア；なし、イ；3.5 km (47.3%)、ウ；3.9 km (52.7%)

③黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間：ア；なし、イ；5.6 km (57.7%)、ウ；4.1 km (42.3%)

④黒川の豊富橋から JR 橋までの区間：ア；4.5 km (42.4%)、イ；3.8 km (35.8%)、ウ；2.3 km (21.7%)

⑤黒川の JR 橋から境橋までの区間：ア；2.0 km (23.0%)、イ；3.3 km (37.9%)、ウ；3.4 km (39.1%)

以上の評価結果から、農地の整備状況に関する特徴を整理すると、次のようである。

- 1) 「ア：よく整備されている」に関しては、余笹川の棒川合流点より下流区間において割合が高く、地域の約 77% を占める。次いで黒川の豊富橋から JR 橋までの区間で約 42% を占める。余笹川の棒川合流点より上流区間および黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間においては、評価アの区間はない。
- 2) 「イ：ある程度整備されている」に関しては、黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間（地域の約 58%）および余笹川の棒川合流点より上流区間（地域の約 47%）において割合が高い。
- 3) 「ウ：整備が遅れている」に関しては、余笹川の棒川合流点より上流区間（地域の約 53%）において割合が高く、次いで黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間（地域の約 42%）において割合が高い。
- 4) 以上から、農地整備が進んでいる順番は、余笹川の棒川合流点より下流区間、次いで黒川の豊富橋から JR 橋までの区間、黒川の JR 橋から境橋までの区間と続く。黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間は農地整備が遅れているが、農地整備が最も遅れているのは余笹川の棒川合流点より上流区間であると言える。

5.3 地域の社会的特徴

谷の勾配や谷底平野の形態などの自然条件は、それが類似する範囲を地域的にまとめ、地域に社会的特徴を与えられられる。

前述の 5 つの区間について、谷底平野の社会的特徴を整理すると、次のようである。

- ①余笹川の棒川合流点より下流は黒磯市であり、寺子橋下流の一部を除いて、谷底平野を河川に沿う方向に道路が通じており、古くから地域の開発が進んでいた。写真 3 および写真 8 に道路の状況が部分的に示されている。
- ②余笹川の棒川合流点より上流は那須町であり、河川に沿う方向の道路は十分に通じていない。上下流の集落に行くには、谷底平野周辺の丘陵地を通らねばならず、「開発の遅れた地域」と言

われてきた。写真 7 から道路が通じていない状況がわかる。

- ③黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間では、4.3 km 地点から中野川橋（8km 地点）までの間には河川に沿う方向の道路はなく、住宅も少ない。写真 1 および写真 2 から道路が通じていない状況がわかる。

- ④黒川の豊富橋から JR 橋までの区間には、河川に沿う方向の道路が通じている。近くを鉄道も通っており、豊原駅がある。地名の豊原から、豊かな農地が古くからあったことが窺われる。写真 4 および写真 6 に道路の状況が部分的に示されている。

- ⑤黒川の JR 橋から境橋までの区間には、河川に沿う方向の道路は十分に整備されておらず、25.9 ~ 28.0 km 区間にはそのような道路はない。しかし、それ以外の区間では河川に沿う方向の道路が通じていて、国道 4 号（25.7 km 地点）も横切っており、部分的に開発が進んでいる。写真 5 から道路が通じている状況がわかる。

5.4 水害の社会的側面

以上の検討結果を総合すると、水害にも、土地利用にも、農地の整備にも地域性があり、その背景に流域の自然条件とその影響を受ける地域の社会的特徴があることがわかる。これらの特徴を考慮すると、前述の①から⑤で示した 5 つの区間は表 3 に示す 3 つのグループに分けることができ、水害の背景にある諸条件と被害の関係を整理すると表 3 のようになる。

グループ 1 の地域では、地域の開発が進んでおり、農地もよく整備されていた。多くの場所で河道の湾曲頂点付近の河川領域幅を小さくするような土地利用がなされており、今回の洪水ではこのような場所において大きな被害が発生した。

グループ 2 の地域では、地域の開発が部分的に進んでおり、農地整備が進んでいる区間と遅れている区間が混在していた。土地利用に関しては、湾曲頂点付近の河川領域幅が小さい場合と大きい場合が同程度であり、今回の洪水では

表3 水害の背景にある諸条件と被害の関係

グループ	1	2	3
区 間	①余笹川の棒川合流点より 下流区間 ④黒川の豊富橋からＪＲ橋 までの区間	⑤黒川のＪＲ橋から境橋ま での区間	②余笹川の棒川合流点より 上流区間 ③黒川の余笹川合流点から 豊富橋までの区間
自然条件	河床勾配が小さく、谷底平 野の幅が大きい。	河床勾配が大きい。	河床勾配がやや大きい。
地域の開発 状況	開発が進んでいる。	開発が部分的に進んでい る。	開発が遅れている。
農地の整備 状況	よく整備されている。	整備が進んでいる区間と遅 れた区間が混在している。	整備が遅れている。
湾曲部の河 川領域幅	多くの場所で河川領域幅を 小さくするような土地利用 がなされていた。	湾曲頂点付近の河川領域幅 が小さい場合と大きい場合 が同程度であった。	余笹川②では１箇所以外は 河川領域幅が大きかった。 黒川③では河川領域幅が小 さい場合と大きい場合が同 程度であった。
被害状況	多くの場所で大きな被害が 発生した。	大きな被害が発生した割合 はグループ１の地域より小 さかった。	１箇所を除いて、大きな被 害は発生しなかった。

5箇所では大きな被害が発生したが、その発生割合はグループ１の地域よりも小さかった。

グループ３の地域では、地域の開発も農地整備も遅れていた。土地利用に関しては、余笹川の棒川合流点より上流区間では、湾曲頂点付近の河川領域幅が大きい場合が多く、１箇所だけそれが小さい場所があり、そこだけで大きな被害が発生した。一方、黒川の余笹川合流点から豊富橋までの区間では、湾曲頂点付近の河川領域幅が小さい場所が３箇所、それが中程度の場所が３箇所あったが、谷底平野の形態が被害を軽減する効果を持っており、湾曲部内岸側の帯状の低位農地を整備せずに、低いままで利用していたために大きな被害が発生しなかった。

以上の考察から、余笹川流域においては、水害と土地利用あるいは地域開発とは密接な関係があると言える。

6. おわりに

余笹川流域の水害の実態を検討することに

よって、山地河川の水害の発生構造を解明しようとした。水害発生構成要素として以下の事柄が重要であることが明らかになった。

1) 記録的な降雨と洪水流出

那須観測所で日雨量640 mm/日、連続雨量1,254 mmの降雨があり、主要な河道の平均的流下能力の4倍前後という未曾有の洪水が発生した。

2) 谷底平野と河道の特徴

黒川の三蔵川合流点から豊富橋までの区間においては河道湾曲部の内岸側に地盤高が低い農地が河道に沿って帯状に連なっているという谷底平野の形態があり、その他の調査区間では谷底平野内の土地と河川との相対高さはほぼ一様で、段差がほとんどない。また、各検討区間で谷勾配や河床勾配が異なる特徴を有しており、河道湾曲部では曲がりの角度や状態が様々である。これらが水害の発生状況に影響を与えた。

3) 河川湾曲部の土地利用

河道湾曲部の河川領域幅を小さくするような土地利用と、それを大きく残しておく土地

利用とがあり、それに対応して被害が発生した。それは地域開発の進展状況などの地域の社会的特徴と深く関係している。

4) 河道の維持管理

黒川の河床勾配が相対的に小さい場所で、洪水の流下が阻害される状態になるまで河川領域内の樹木を放置しておいた場所では被害が大きくなった。また、河道内に堆積した土砂が被害を大きくした。

以上の到達点に基づく治水対策として2)以下が対応可能であり、その要点を以下に述べる。地域ごとの谷底平野と河道の特徴を把握して、その条件を活かす治水対策を実施するべきである。河川湾曲部においては過度の土地利用を避けるべきであり、河道幅を直線部と同等かそれよりも大きくする河川改修を行い、中小洪水によって内岸側に土砂がたまる場合には、内岸側の土砂を部分的に排除して河岸近くに適当な幅の流路を造ることが重要である。河川領域内の樹木の適切な管理が重要である。

以上の検討は、災害前の余笹川と同様に、改修が十分に行われていないような河川の治水対策を講ずる場合に有効であると考ええる。なお、災害前の余笹川は未改修河川であり、2001年に災害復旧事業による河川改修(改良復旧)が完了したが、上記の観点からの検討の余地も残されている。

謝 辞

本研究を進めるに当って、那須町と当時の栃木県余笹川流域河川改修事務所より各種の資料の提供をいただいた。末筆ながら深甚の謝意を表します。

参考文献

- 伊藤和典・須賀堯三・茂木信祥・池田裕一：平成10年8月末の那須出水による余笹川の流路変化の特性，水工学論文集，第44巻，pp.407-412，2000。
- 伊藤和典・須賀堯三・池田裕一：余笹川にみる低頻度大洪水による横侵食性河道変化の実態とその考察，水工学論文集，第45巻，pp.781-786，2001。
- 上野鉄男：余笹川の1998年8月水害と治水対策について，京都大学防災研究所年報，第46号B，pp.591-612，2003。
- 上野鉄男：余笹川流域の1998年8月水害の研究，京都大学防災研究所年報，第47号B，pp.545-564，2004。
- 上野鉄男・石垣泰輔：足羽川山地流域における2004年水害について，京都大学防災研究所年報，第48号B，pp.657-671，2005。
- 宇治橋康行・広部英一：2004(平成16)年7月福井豪雨災害の速報，土木学会誌，第89巻第9号，pp.49-52。
- 栗山卓也・川口広司・末次忠司・日下部隆昭・最上谷吉則：平成10年余笹川洪水による国道4号橋梁上下流の河床変動と河岸侵食，水工学論文集，第48巻，pp.1087-1092，2004。
- 小高猛司・岡二三生・横田善弘・竜田尚希・角南進：河川上流部の被害，平成16年7月福井豪雨による地盤災害調査報告書，pp.38-57，2005。
- 佐藤照子：1998年8月那珂川水害の被害と土地環境，主要災害調査第37号 北関東・南東北地方1998年8月26日～31日豪雨災害調査報告，防災科学技術研究所，pp.137-216，2001。
- 須賀堯三・伊藤和典・池田裕一：極低頻度大出水後の中小河川における近自然工法の適用の検討～那珂川支川の余笹川の場合～，河川美化・緑化調査研究論文集，第11集，pp.47-72，2005。
- 高山博行：一級河川余笹川災害復旧事業(一定災)，防災，No.113，pp.48-53，2002。
- 館健一郎・末次忠司・小林裕明・都丸真人：洪水氾濫時の防災樹林帯の効果に関する検討―余笹川流域を対象として―，水工学論文集，第45巻，pp.913-918，2001。
- 辻本哲郎・井上和也：台風21～23号による豪雨災害緊急調査(速報)，土木学会誌，第89巻第12号，pp.23-29。
- 栃木県：一級河川那珂川水系 余笹川災害復旧事業計画書(一定災)，46pp，1999。
- 中川一・高橋保・里深好文：1998年洪水による那珂川水系余笹川の河道変動について，水工学論文集，第44巻，pp.395-400，2000。
- 長谷川和義：平成15年台風10号による北海道豪雨災害の概要と特徴，平成15年度河川災害に関するシンポジウム，pp.21-38，2004。
- 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明・菅俣崇・福田一郎・築瀬和裕：余笹川の災害対策後河道の河道特性に関する考察，水工学論文集，第46巻，pp.343-348，2002。