

鉄砲水による人的被害の軽減に向けた考察

STUDIES ON ALLEVIATION OF DEATH ACCIDENTS BY FLASH FLOOD

松田如水¹・山越隆雄²・田村圭司³

Josui MATSUDA, Takao YAMAKOSHI and Keiji TAMURA

- ¹正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 防災部 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1)
²正会員 工博 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
³ 工修 独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

The aim of this study is to clarify the principal causes of the death incidents by flash floods through studying the recent flash floods in Japan. Seventeen significant flash floods were selected as floods of interest. As a result, the following characteristics were found to be common aspects. 1) The floods were triggered by short-period and very localized heavy rainfall. In many cases, there was little rain around the victims at the time of attacks by flash floods. 2) The main difference between ordinary floods is that many losses occurred in the channel. They were sometimes fisher men, playing children, and those who intend to be there for some purposes. 3) Furthermore, there are similarities in the channel where people were killed. The channels are shaped, such as a rectangular profile with high upright sidewalls. 4) Most witnesses told that the first moment that they really started evacuation was the moment they visually caught the surge of flash flood.

Key Words : flash flood, death accidents, short-time local heavy rain, channel shape, Recognition of danger

1. はじめに

鉄砲水とは、急流河川などに発生する非常に急激な増水のことである。しばしば土砂や流木を巻き込むことがあるが、水が主体となる現象である。鉄砲水による災害は、極めて短時間のうちに発生することが特徴であり、図-1に示すように、洪水と土石流の遷移領域にある現象として捉えられる。すなわち、鉄砲水は、土砂流から低濃度の突発的な流れまでの領域での現象である¹⁾。

近年、鉄砲水として報道される災害や事故は、多発傾向にあるものと考えられるが、当該現象の実態の把握は難しく、その知見は十分であるとは言い難い。これは、鉄砲水が継続時間の短い現象であることなどに起因する。また、鉄砲水による人的被害は、毎年のように発生しているが、特筆されるような事例を除いては“急激な増水”とか“突然の濁流”などとして報道され、洪水や土石流の範疇として扱われることが通常である。このため、発生件数の実態把握も難しい。なお、本研究で把握できただけでも、過去4か年に、少なくとも21名が鉄砲水による犠牲者となっている。

2008年7月28日に発生した都賀川での鉄砲水の事例は、神戸市設置のモニタリングカメラにより、鉄砲水の急激な増水の状況が映像として全国的に報道された極めて珍

しい事例である。本事例では、発災の数分前まで降雨がなく、発災時の急激な増水に加え、57名(うち5名死亡)もの河道内利用者や工事関係者が災害に遭遇したことから、社会的な注目を集めた。

本研究では、鉄砲水による人的被害の軽減を目的に、近年発生した鉄砲水の事例を抽出し、災害特性の概況を整理した。また、人的被害の発生している事例の特徴に着目し、鉄砲水のような急激な増水による人的被害の軽減に向けた対応について考察した。

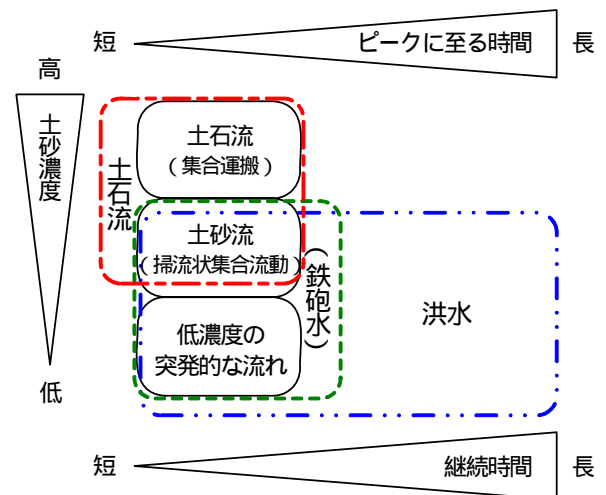


図-1 鉄砲水と洪水や土石流の関係模式図¹⁾

2. 研究の方法

本研究では、現象の把握が比較的容易であると考えられる近年の事例（直近4カ年を中心に過去10年程度の鉄砲水として報道された事例、図-2）を対象とした。事例の抽出には、G-searchによる新聞記事横断検索²⁾を活用し、降雨データや水位データ等の検証をふまえ、対象とすべき事例を抽出した。また、直近4カ年の事例では、現地調査と関係者への聞き取りを実施した。

本稿では、これらの調査結果を基に、人的被害の発生している鉄砲水災害の特徴を整理し、災害特性の分析を試み、人的被害軽減の観点から鉄砲水のような急激な増水に向けた対応について考察する。

3. 鉄砲水災害の概況

(1) 発災要因

鉄砲水の発生要因は、源流部の豪雨など直接的な流出現象と河道閉塞の形成・決壊など貯留を伴う流出現象に大別される¹⁾。事例の多くは、源流部の豪雨など直接的な流出現象と考えられるものであり、短時間豪雨による急激な増水としての鉄砲水災害が発生している。

また、河道閉塞の形成・決壊など貯留を伴う流出現象と考えられる事例（白土川、芝原川など）も、少なからず発生しており、河岸崩壊などに伴う河道閉塞の形成・

決壊のみならず、豪雨に伴うため池などの貯留施設の決壊による鉄砲水災害（奥畑川、鉄山川など）も発生している。なお、河道狭窄部の閉塞など流下断面の阻害により氾濫した事例（湯の坪川、岳本川など）についても、鉄砲水として報道される場合がある。このような事例は扇状地形での発生事例が多い。橋梁などの狭窄部の閉塞などを契機として、氾濫流が背後地の道路などを流路として流下し、河道から離れた場所に、突然、氾濫流が押し寄せてくる場合などである。

(2) 鉄砲水による人的被害

人的被害の発災場所を、河道内と河道外に大別すると、7割以上が河道内での発災である（図-3）。

河道内での発災事例では、河道内の利用者や工事関係者などが犠牲者となっているものが多く、突然の急激な増水に流されることにより人的被害に繋がっている。これらの事例では、洪水規模は必ずしも大きくはない。しかし、急流河川では、増水時の流速が大きいこともあり、いったん流されると、流れから脱出することが難しい。また、岩などに体が叩き付けられたり、流されてきた礫が体に衝突したりするなど、打撲や骨折などを伴うことも少なくない。このため、生存者が重傷を負っている事例が含まれている。なお、河道外での発災事例では、土砂災害や氾濫災害が同時生起するなど、いわゆる豪雨災害の様相を呈する洪水規模の大きい事例であることが多い。このため、物的被害が顕著であり、これに伴う人的被害の発生に繋がっている。

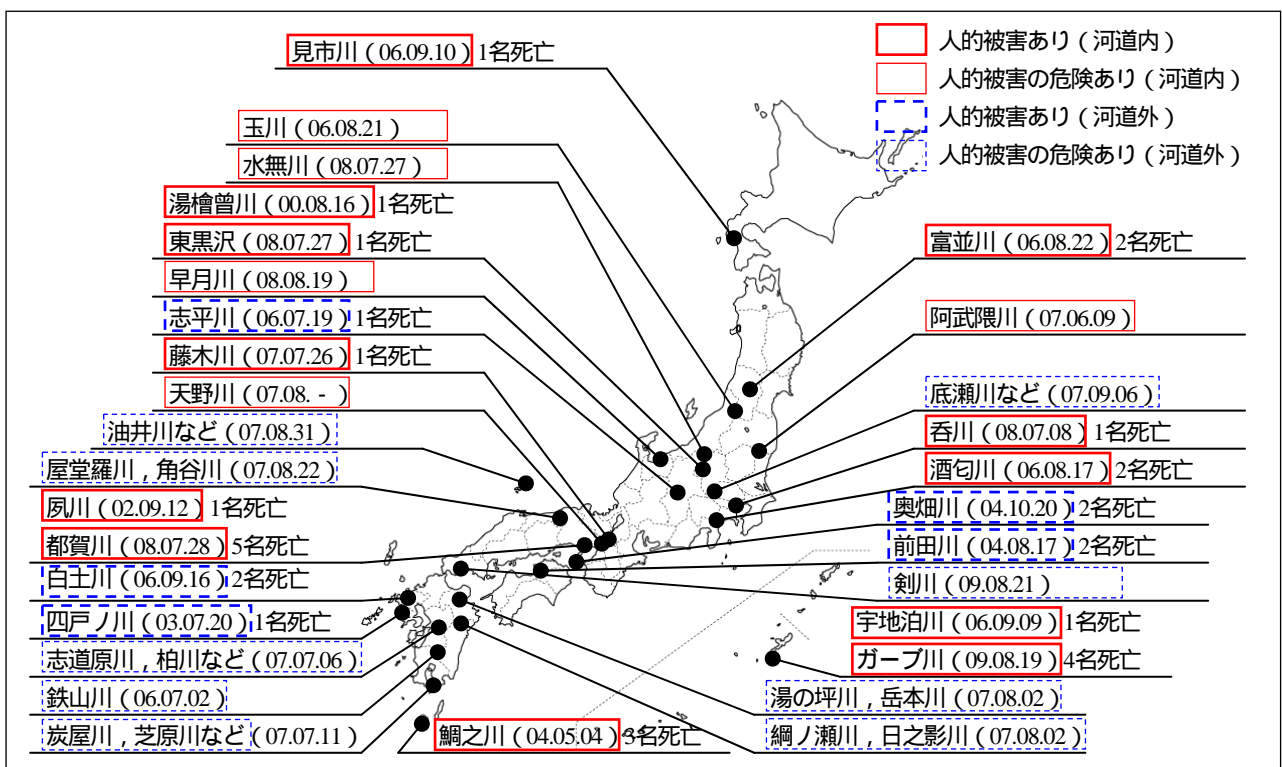


図-2 近年発生した鉄砲水災害（本研究における抽出事例のみ）

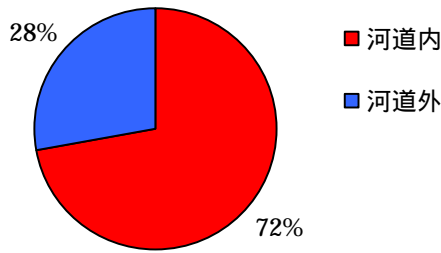


図-3 鉄砲水災害の発災場所

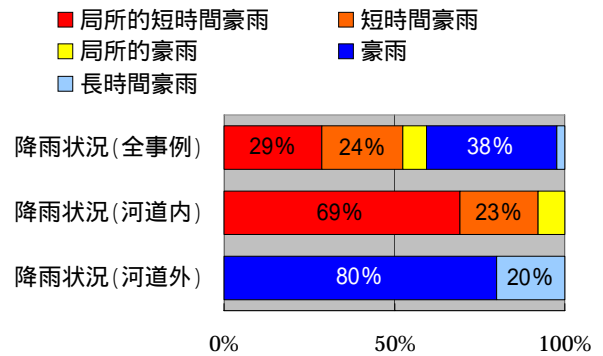


図-4 降雨状況と発災場所(河道内・河道外)

(3)鉄砲水を発生させた降雨

流域に対する雨域の広がりという観点から、鉄砲水を発生させた降雨について整理すると、強い雨域が局所的な豪雨と、強い雨域が広い豪雨に大別される。

前者は、雷雨性豪雨など、降雨域での短時間降雨強度が大きい局所的な雨域によるものが多く、発災地点では降雨が無い小さいことが多い。このため、急激な増水の危険を予想し難い河道内の利用者や工事関係者などが、結果として、犠牲者となる例が多いものと考えられる。

後者は、前線性豪雨など、ある程度まとまった雨域によるもので、発災地点でも強い降雨があり、土砂災害や氾濫災害が同時生起するものである。

ここで、強い雨域とは、気象庁が使用している降雨階級(表-1)に準じ、1時間雨量20~30mm以上の雨域とした。ただし、降雨継続時間が1時間未満の事例については、降雨強度(mm/h)として扱った。

鉄砲水を発生させた降雨を、表-2に示す降雨特性(降雨分布、継続時間など)の観点から図-4に整理した。

表-1 降雨階級

降雨状況	1時間雨量(mm)
降雨なし	0
小雨	0~10
やや強い雨	10~20
強い雨	20~30
激しい雨	30~50
非常に激しい雨	50~80
猛烈な雨	80~

表-2 鉄砲水を発生させた降雨

局所的短時間豪雨	源流域など局所的に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が1~2時間以下のもの
短時間豪雨	流域全体に1~2時間以下の強い雨域があるもの
局所的豪雨	源流域など局所的に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が3時間以上のもの
豪雨	流域全体に強い雨域があり、強い降雨の継続時間が3時間以上のもの
長時間豪雨	短時間の強い降雨がなく、流域全体に長時間にわたって降雨が継続したもの

なお、表-2による降雨区分は、気象庁資料⁴⁾に準じると、局所的短時間豪雨および短時間豪雨が“局地的大雨”に、局所的豪雨、豪雨、長時間豪雨が“集中豪雨”に対応する。

図-4に示すように、全事例の5割以上が、強い降雨の継続時間が1~2時間以下の短時間豪雨が占める結果となった。ここで、発災場所(河道内・河道外)に着目すると、河道内での人的被害の発生事例を対象とした場合には、局所的短時間豪雨(69%)、短時間豪雨(23%)、局所的豪雨(8%)となった。これに対して、河道外での人的被害の発生事例を対象とした場合には、豪雨(80%)、長時間豪雨(20%)となった。

このことは、降雨状況によって、災害形態が大きく異なることを示唆するものであると考えられる。このため、河道内と河道外での発災事例について、災害特性の観点から区分して防災対策を検討すべきであると考えられる。

以下、本論では、河道内での発災事例を対象として人的被害の軽減に向けた分析を試みる。

4. 河道内での人的被害の発生要因

本研究にて把握できた事例のうち、河道内で人的被害が発生した事例、および人的被害の発生のおそれがあった事例が17事例ある。ここで、人的被害の発生のおそれがあった事例とは、鉄砲水の流下直前まで河道内にいたことが確認されている事例や、鉄砲水に遭遇したが、避難できた事例とした。

なお、抽出した17事例における人的被害の発生、非発生の割合は、前者が7割、後者が3割である(表-3)。

(1)発災時の降雨状況

降雨状況の表現は、気象庁が採用する降雨階級(表-1)に準じた。抽出事例のうち、降雨が無かったものが4割である。これに小雨であったものを加えると6割程度になる(図-5)。なお、強い雨や激しい雨など、降雨が強かった事例は、いずれも突然の強い雨によるもので、発災直前まで降雨が無かったものが多い(宇地泊川、藤

表-3 河道内で人的被害が発生した事例、または人的被害の発生のおそれがあった17事例（抽出事例のみ）

河川名	発災地点の降雨状況 発災地点の水位状況 (観測所水位状況)	発災の概況	人的被害
湯檜曾川 ⁴⁾ (00.08.06)	降雨なし 70～100cm/15min (なし)	下山のため、浅瀬を渡河。雨は無かった。“水が濁り、ザーという音が後から聞こえてきた”、“ザーという音が聞こえてきた”、“ゴーゴーと水の音がすごくなり、一瞬で腰の高さまで水位が上がった”31名が遭遇。9名は左岸の斜面に取り残された。5名が流され、うち1名死亡1名重傷。他8名負傷 ⁵⁾	有
夙川 (02.09.12)	降雨なし 50～100cm/10min (108cm/10min：夙川:兵庫県)	河道内で釣りをしていた。雨は無かった。“急に増水した。逃げようとしたが水の勢いが強かった”、“急に川の水が増えた”2名が流される。うち1名死亡。	有
鯛之川 (04.05.04)	強い雨 不明 (なし)	強い雨のため、鯛之川遡行を中止。“渡河する際、1名が足を滑らせ意識を失った。意識を回復した後、再び渡河している際、鉄砲水が発生し、急激に水位が上昇、2名が流された。岩場に取り残された2名も急激な増水のため流された”5名が遭遇、4名が流され、うち3名死亡1名重傷。	有
酒匂川 (06.08.17)	小雨 50～70cm/10～30min (64cm/30min：平山:神奈川県)	河道内で釣りをしていた。雨はほとんど無かった。“水がだんだん濁ってきた。一気に増水した(富士道橋付近)”、“膝下までしかなかった水位が胸まで一気に増えた(大井町付近)”24名が流され、うち2名死亡。中州に取り残された者は救助された。	有
玉川 (06.08.21)	降雨なし 250～350cm/5～10min (218cm/20min：玉川:国)	河道内で工事中。降雨は無かった。“16:10頃、水位警報装置が作動。水位の変化もなく、誤作動を疑った。16:25頃、上流よりゴーという音が聞こえ、津波のように濁流が押し寄せてきた”4名が事前避難、人的被害無し。	無
富並川 (06.08.22)	降雨なし 70～80cm/10min (72cm/10min：深沢:山形県)	魚とりをしていた。雨は無かった。“突然、津波のような濁流が押し寄せた”“水位は20cm程度だったが、2:30頃、突然津波のようなゴーという音がして水かさが増した”4名が遭遇し、3名が流される。うち2名死亡。	有
宇地泊川 (06.09.09)	やや強い雨 80～100cm/5min (なし)	川遊びをしていた。雨が降ってきたので橋の下で雨宿りをしていた。“上流を見ていた1名が「石につかまれ、流されるなよ」と叫んだ。直後に急激な増水が発生した”3名が遭遇、うち1名が流され死亡。	有
見市川 (06.09.10)	やや強い雨 30～40cm/10min (30cm/10min：見市川:北海道)	下山のためロープを使って渡河していた。朝から断続的に雨が降っていた。“朝方から雨だったがそれほど増水していなかった。急に増水した”8名が遭遇うち1名が流され死亡。	有
阿武隈川 (07.06.09)	小雨 50～60cm/10min？ (53cm/10min：白川:国)	溪流釣りのため、2:30頃、河原に駐車した。小雨だった。“仮眠をとっていたが、3:00頃、急激に増水していることに気がついた。水圧で車のドアが開かず、窓から脱出した”3名が遭遇、車両2台水没。	無
藤木川 (07.07.26)	やや強い雨 180～200cm/5min？ (なし)	強い雨が降ってきたため河道内の除草作業を中断し、岸に避難した。“数分後に小降りになったため、河道内の機材を回収しようと河道に入ったところ、高さ2mの鉄砲水が押し寄せてきた”2名が流される。うち1名死亡。	有
天野川 (07.08.-)	降雨なし 60～70cm/5min (不明)	川遊びをしていた。雨は無かった。“20cm程度の水深だったが、気がつくとも腰くらいまでの水位になった”10名以上が遭遇。3名が対岸に取り残され救助。天野川では、2006年8月にも急激な増水による取り残されがあった。	無
呑川 (08.07.08)	小雨 70～100cm/15min (167cm/30min：池上:東京都)	河道内で工事をしていて。上流で強い雨が降ったという情報により、作業を中断し避難している最中だった。小雨だった。“避難している最中に急激に水が押し寄せてきて流された”3名が遭遇うち1名が流され死亡。	有
東黒沢 (08.07.27)	強い雨 不明 (89cm/10min：湯檜曾:群馬県)	キャニオニングをしていたが、雷雨が強くなったので中断して川岸にいた。“突然、鉄砲水に襲われた”8人が遭遇。2名が流される。うち1名死亡1名重傷。	有
水無川 (08.07.27)	小雨 100～150cm/10min (122cm/10min：大倉:国)	強い雨が小降りになった。水無橋の下ではバスを待つ子供が雨宿りをしていた。“バスが来た15分後にザーという音を立てて押し寄せてきた。鉄砲水の通過した後は急に涼しくなった”人的被害無し。橋梁一部流失。	無
都賀川 (08.07.28)	激しい雨 50～100cm/2min (137cm/10min：甲橋:兵庫県)	水遊びをしていた。急に激しい雨になった。“橋の下に子供たちを誘導。雨宿りをしていたが、濁流が襲いかかった”、“約200m上流で白い波頭が見えた。津波のようだった”、“大人の背丈より高い水の壁が突然津波のように押し寄せて来た”57名が遭遇。10名が流される。うち5名死亡	有
早月川 (08.08.19)	降雨なし 50～100cm/5min (83cm/10min：月形橋:富山県)	河道内で魚釣りをしていた。降雨は無かった。“きれいだった水が急に濁って数分のうちに一気に増水した”、“5分ほどで急に増水した”4名が遭遇、1名が中州に取り残され救助された。	無
ガーブ川 (09.08.19)	降雨なし 60～80cm/5min (なし)	河道内で調査作業をしていた。“13:30頃に強い雨が降ったが、発災時は降雨は無かった。水が濁ってきたと思ったら、急に腰くらいまでの水位になった”5名が流される。うち4名が死亡。	有

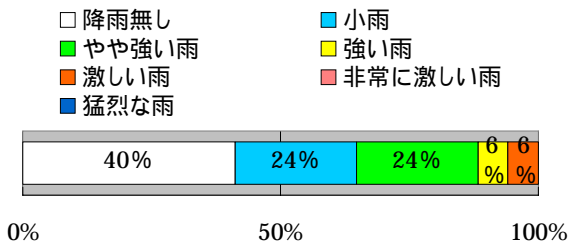


図-5 発災時の降雨状況

木川，東黒沢，都賀川）。また，突然の雨のため，橋の下などで雨宿りをしていたところ，急激な増水に襲われたものがある（宇地泊川，東黒沢，都賀川）。

(2)発災地点の河道状況

図-6に示すように，発災地点の河道断面形状に着目すると，抽出事例の約8割が単断面河道に近い河道形状を呈している。

人的被害があったものは，河岸勾配の急な単断面河道が6割以上を占める。一方，人的被害がなかったものでは，河岸勾配の緩い単断面河道や複断面河道が占める割合が多くなっている傾向が窺える。

このことは，急な増水が発生した場合に，河道からの避難の可否が人的被害の有無に大きく影響しているものと捉えられる。

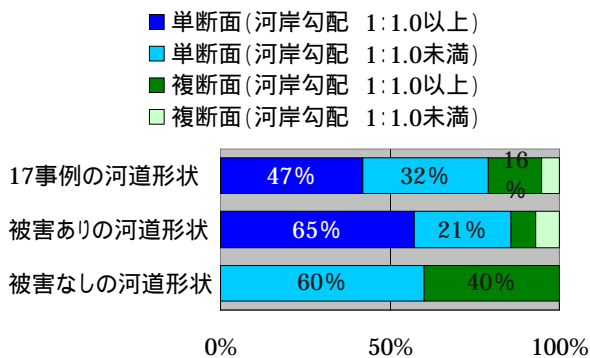


図-6 抽出事例における河道断面形状

(3)洪水波形

抽出事例のうち，洪水先頭部の写真記録等が存在する事例はほとんど無い。ここでは，遭遇者らの証言等より，洪水先頭部が段波あるいは段波状に流下したと考えられるもの（“上流で白い波頭が見えた”，“上流から津波のような濁流が押し寄せてきた”など）と，先頭部が不明瞭に流下したと考えられるもの（“気がつくと，いつの間にか増水していた”など）に区分して，鉄砲水に巻き込まれた場合の犠牲者と生存者の割合を比較した。

図-7に示すように，先頭部が段波状に流下したと考えられる事例では，流された者の6割が死亡している。これに対して，先頭部が不明瞭であったと考えられる事例では，流された者のうち死亡者は3割未満にとどまる。

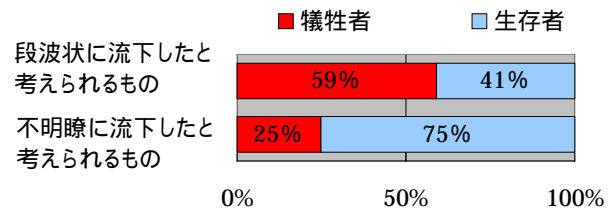


図-7 洪水先頭部の違いによる犠牲者と生存者の割合

このことから，平水位からの水位上昇，すなわち，初期の洪水波形勾配が大きいほど，人的被害の危険性が高くなる傾向が窺える。

(4)危険の予測と認識

発災前の河川水の濁りなどの前兆現象があったと考えられる事例（湯檜曾川，酒匂川，玉川，早月川）や，上流の流水音などの異変があったと考えられる事例（湯檜曾川，玉川，富波川，水無川）があるが，避難の契機となる危険の認識は，概ね発災地点の上流または発災地点の水位・流量の変化を認識した時点である（図-8）。

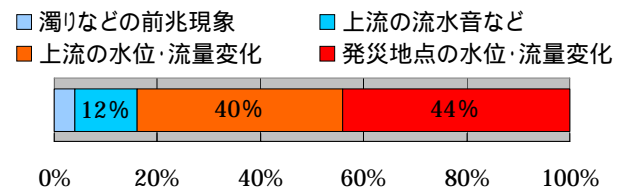


図-8 抽出事例における危険認識のタイミング

5. 人的被害の軽減に向けての考察

(1)危険回避の可能性

“降雨があれば増水する”という因果関係は，一般に理解されていると思われるが，抽出事例にみる生存者の証言からの増水に対する危険の予測は，判断時点の水位に基づいたものであると言える。

鉄砲水のような急な増水では，落水音や流水音などが急に大きくなるため，聴覚により，上流の異変が捉えられている場合がある。しかし，抽出事例からは，避難行動に結びつく危険の認識，状況の把握は，視覚により捉えられるまでの時間を要している傾向が窺える。

人的被害が発生した河道形状は，河道幅の狭い単断面形状のものが多い。このような河道では，上流の視距が短く，上流の水位や流量の変化を捉えることが遅れる危険性が高い。また，河岸勾配が急であるなど，河道からの迅速な避難も難しい。

危険回避の可能性の観点からは，上流の急激な増水を視認できるような視距の確保や，緊急時の避難路など，避難環境の充実をはかることが重要であると考えられる。

(2) 河道の外力特性

人的被害の発生事例において、ある程度水位が上昇すると急激に流体力（水深×流速²）が大きくなる河道特性を有していると考えられるものが確認された。

鉄砲水による人的被害は、流されることにより発生する。このため、水位や流量の増加に伴う流体力の増加が大きいほど、人的被害の危険は高くなるものと考えられる。したがって、水位上昇により身体に作用する流体力の増加が大きい河道ほど、危険な河道特性を有している可能性が高いと考えられる。

参考として、図-9に、河道粗度が異なる同一形状の河道での流体力の比較を示す。この場合、同一水深であれば、AよりBの方が、流体力が大きくなるため、河道内の利用者が流される危険が高くなると捉えられる。

図-10は、高水敷の粗度が異なる同一形状の河道での流体力の比較である。急流河川における親水整備区間では、親水利用を目的とした水深の確保や流速の低減のため、低水路に巨石等を配し、多段にすることで低水路勾配を緩やかにするなどの例がしばしば見られる。また、親水性を高めるため、単断面形状とみなせるような河道断面を呈しているものも少なくない。このような河道では、低水路以外の粗度が小さいことも多く、流路としての河床勾配が急であるため、高水敷を冠水させる増水では急激に流体力が大きくなりやすい。

このため、親水利用のある河道では、増水に伴う河道の外力特性にも配慮する必要があると考えられる。

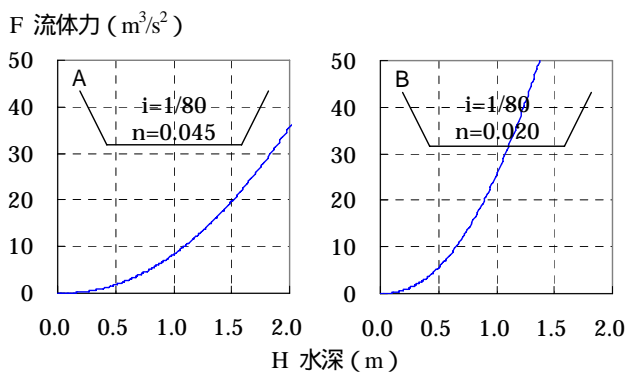


図-9 粗度の異なる同一形状河道の流体力の例

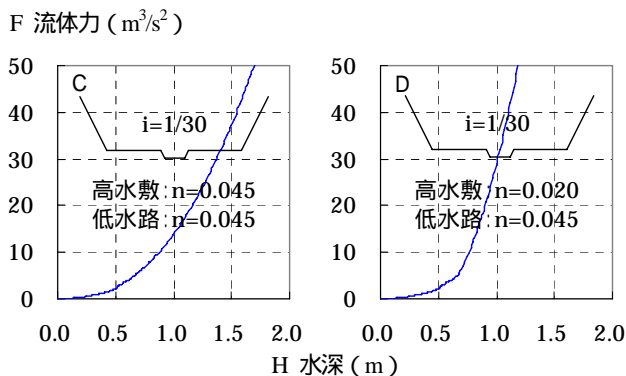


図-10 高水敷の粗度の違いによる流体力の例

(3) 人的被害の軽減に向けて

事故や災害は環境要因と人的要因が重なりあうときに発生する。本稿で抽出した事例は、不幸にも事故や災害に繋がった事例であるが、実際には報道されないヒヤリハット事例が数多く発生していると考えられる。

親水整備区間では、環境要因である危険回避の可能性や河道の外力特性を評価し、図-11のようなリスク分析に基づく戦略的な対策を実施することが有効であると考えられる。なお、人的要因を排除するため、安全教育・啓発は最も基礎的な対策であると捉えられる。

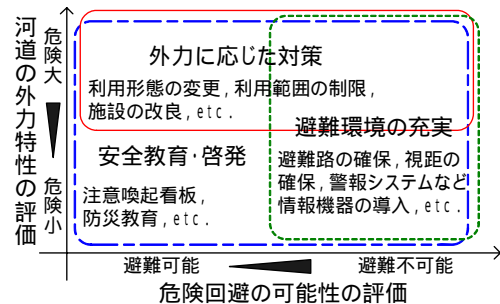


図-11 親水利用のリスク分析と対策案

6. 結論

鉄砲水による人的被害は、河道内での発生事例が多く、強い降雨の継続時間が1～2時間程度以下の“局地的大雨”により発生しているものが多いことがわかった。また、発災地点では降雨が無い、小さい、あるいは降雨継続時間が短い、急激な増水を予測しにくい河道内の利用者や工事関係者などが犠牲者となりやすい。

急激な増水による危険の認識や避難行動は、水位や流量の変化に基づく傾向が伺える。親水利用区間などでの鉄砲水による人的被害の軽減のためには、上流の急激な増水を視認できるような視距の確保や、緊急時の避難路など、親水利用者の緊急避難の観点、避難可能性の観点からの対策が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 松田如水・山越隆雄・田村圭司, 鉄砲水の流出特性に関する研究, 水工学論文集, 第53巻, 2009.
- 2) G-Search, (<http://db.g-search.or.jp/>)
- 3) 気象庁, 局地的大雨から身を守るために -防災気象情報の活用の手引き-, 2009.
- 4) 仲野公章・山越隆雄・笹原克夫・長井義樹・城ヶ崎正人・吉柳岳志・池谷浩・三木洋一, 2000年8月6日に谷川岳・湯檜曾川で発生した出水について(速報), 砂防学会誌 第53巻第5号(通巻232号) 2001.

(2009.9.30受付)