

近年発生した急激な増水による災害について

独立行政法人 土木研究所
土砂管理研究グループ

1. はじめに ~ 土木研究所における研究の取り組み ~

研究の背景と取り組み

- 土木研究所では、鉄砲水と報道されるような急激な増水による災害が、近年増加している可能性を鑑み、鉄砲水の発生特性や発生機構の把握を目的とした研究に取り組んできた。

本資料は主に山地小流域を対象としている。

補足

- 鉄砲水の発生特性や発生機構の知見は少ない。
- (鉄砲水は継続時間の短い現象であり、発災は局所的であることが多いことなどから、現象の把握も難しい。また、従来土石流または洪水の範疇にて扱われる現象であるため、過去の災害情報の把握も難しい)

Ex. 玉川鉄砲水災害(2006.8.21)

玉川第1砂防ダム魚道設置工事における工所用仮設橋などが流失。

16:10頃:現場上流2.5kmに設置していた水位警報装置が作動。作業員の避難および作業機械を退避させた。(現場では降雨も無く、河川水位も異常なし)

16:25頃:水位の急激な上昇。一気に濁流となって増水(約1分で3m程度上昇)



☒ 玉川(2006.8.21)

飯豊山系砂防事務所提供

2. 鉄砲水とは ~ 山地小流域で発生する急激な増水とは ~

- 鉄砲水とは、土石流と洪水の中間に位置するような現象である。
低濃度の突発的な流れ ~ 土砂流(掃流状集合流動)
- 鉄砲水と表現される現象は、英語圏の国々などではflash floodと表現される(鉄砲水 = flash floodとして訳される)
- 近年、局所的な集中豪雨が頻発するとともに、鉄砲水と報じられる災害事例が増加している

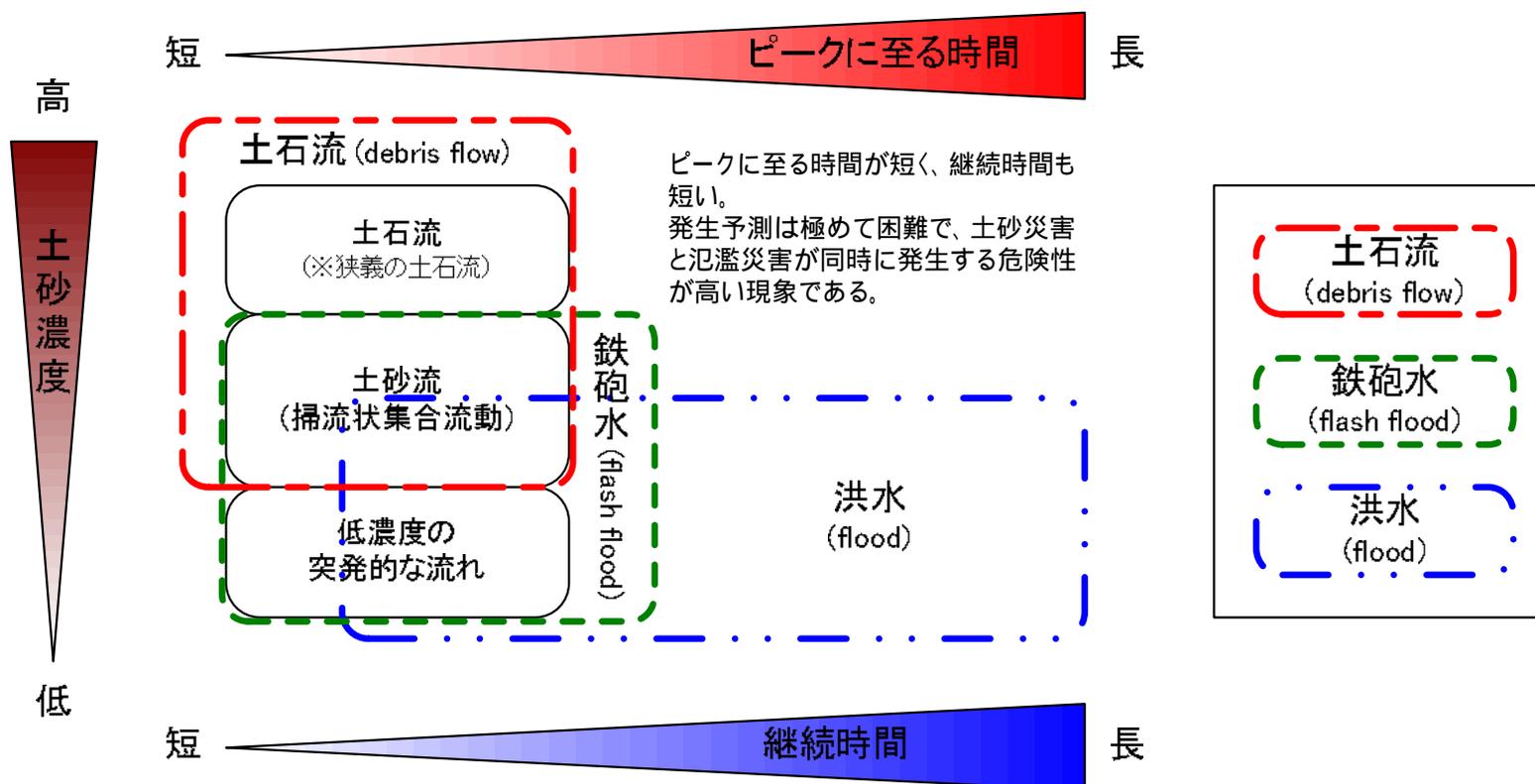


図 鉄砲水 (flash flood) のイメージ

土砂濃度やピークに至る時間、継続時間の観点から、鉄砲水 (flash flood) と表現される現象を模式的に表現したものであり、確立した表現ではない。わが国では、土石流は一般にも広く認知されていることから、土砂流から低濃度の突発的な流れとして捉えることが適切であると考えられる。

3. 災害の概況 ~ 抽出した鉄砲水災害 ~

事例の抽出

- 近年の災害事例(直近3ヵ年を中心に過去10年程度の間に鉄砲水として報道された災害事例)を対象。

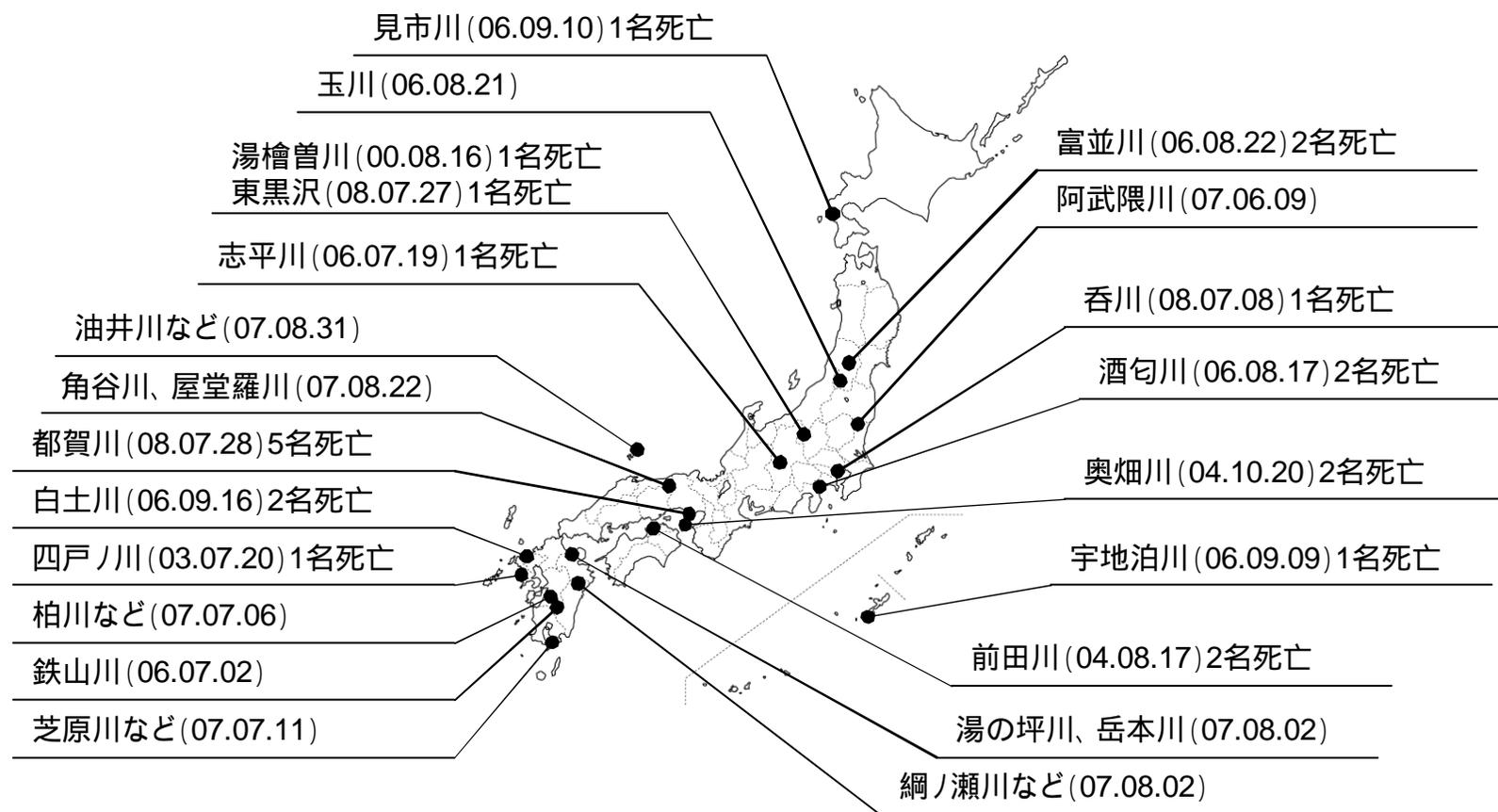


図 近年発生した鉄砲水災害の位置 (抽出事例のみ)

3. 災害の概況 ~ 災害特性の概況 ~

発生要因

1. 源流部の豪雨など直接的な流出現象によるもの

- 抽出事例の多くを占める。
- 短時間豪雨による急激な増水の発生として災害に至る。

2. 河道閉塞の形成・決壊など貯留を伴う流出現象によるもの

- 河岸崩壊などに伴う河道閉塞の形成・決壊
- 豪雨に伴うため池などの貯留施設の決壊

3. その他

- 流下断面の阻害による増水・氾濫
- (扇状地形などでの発生事例が多い。河道閉塞などの流下断面の阻害により、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で、突然氾濫流が押し寄せてくる場合など)

発災地点

1.河道内、2.河道外、に大別できる。

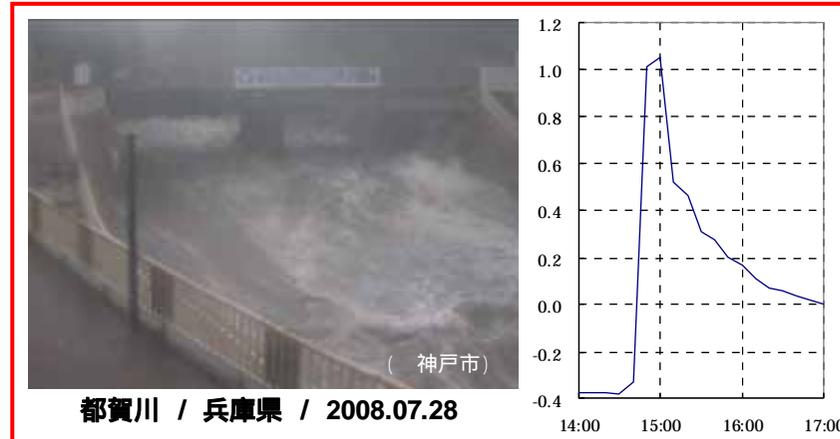
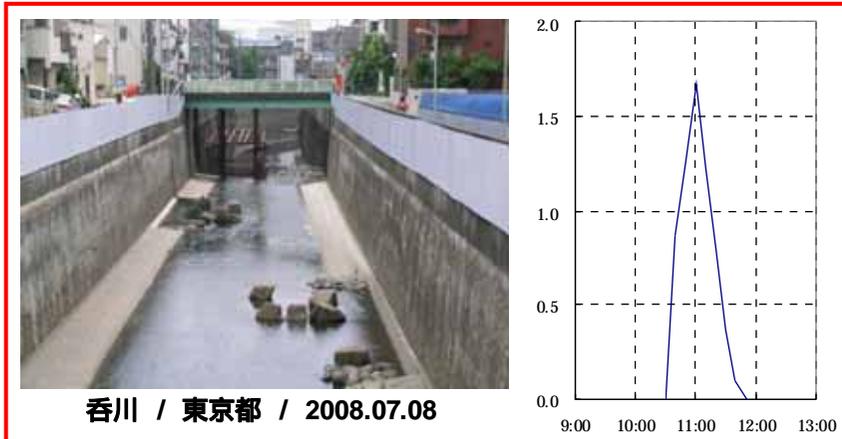
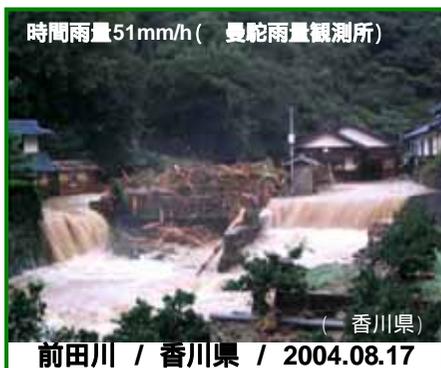
- 1.は、河道内利用者や工事関係者が犠牲者となりやすい。
- 2.は、洪水氾濫と同様の災害形態を呈するが、土砂を多量に含むため、土砂災害の様相を呈することが多い。

発生流域

- 概ね急峻な山地流域で発生している。
- 流域が市街化されている丘陵地流域でも発生している(都市型洪水と表現されることが多い)。

3. 災害の概況 ~ 災害概況 ~ (参考)

- 源流部の豪雨など直接的な流出現象によるもの
- 天然ダム等の形成・決壊など貯留を伴う流出現象によるもの
- その他(流下断面の阻害による増水・氾濫など)



4. 雨域と災害形態

- 流域での強い降雨域の分布状況に着目すると、タイプ1(強い雨域が広く、流域総雨量も大きい豪雨)、タイプ2(強い雨域が局所的な豪雨)に大別される。

流域に対する強い雨域の広さであり、雨域の広さを表現するものではない。また、タイプ区分が難しい例もある。

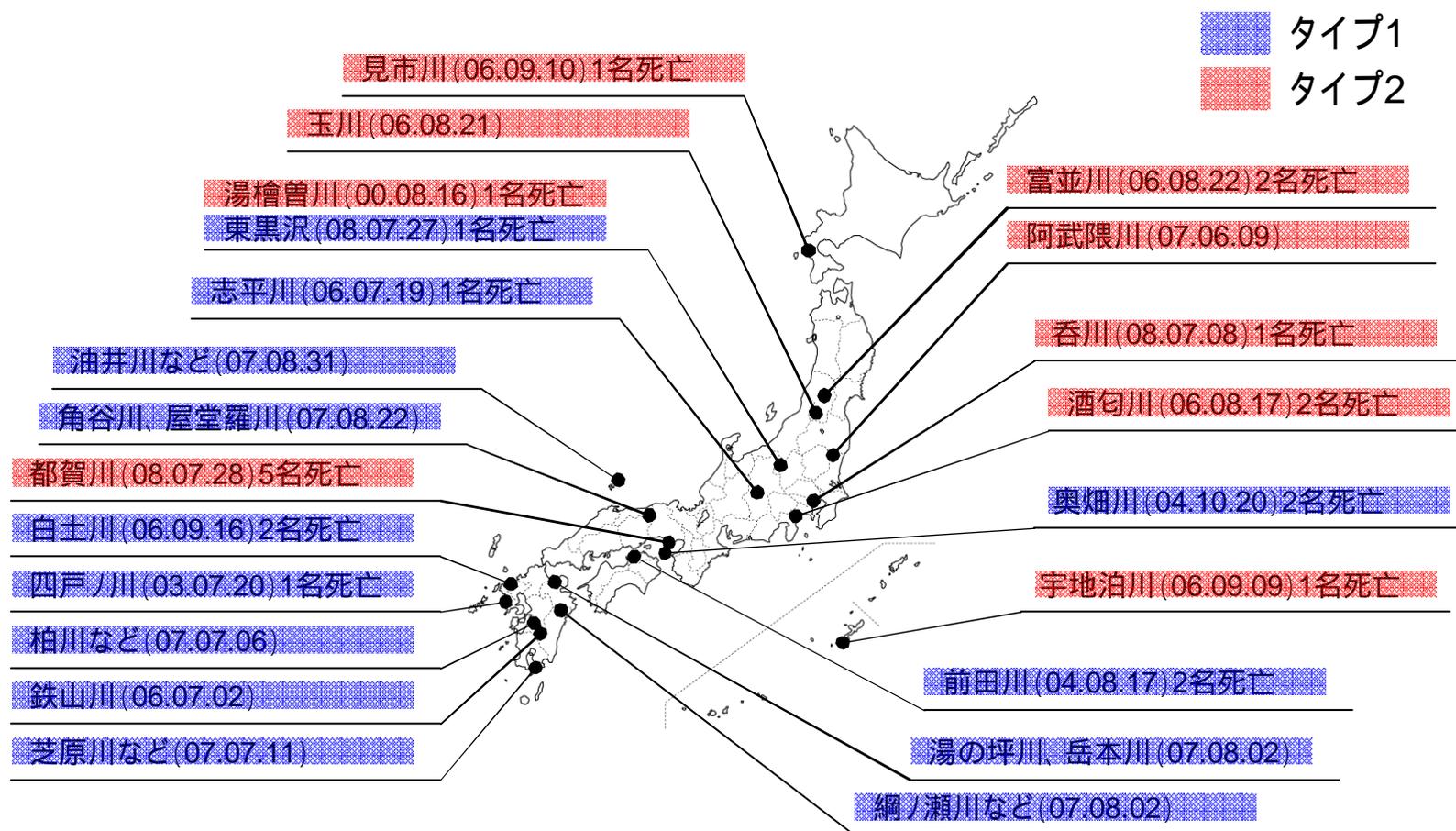


図 近年発生した鉄砲水災害の位置 (抽出事例のみ)

4. 雨域と災害形態

流域における強い降雨域の分布状況

- **タイプ1**：強い雨域が広く、流域総雨量も大きい豪雨
前線性豪雨など、ある程度まとまった雨域(100kmスケール)を有するものが多い。
短時間の雨量強度が強い例が多い。また、流域総降雨量が大きい。
いわゆる豪雨災害の様相を呈し、氾濫災害や土砂災害が同時生起する。
(インフラ被害あり、人的被害あり)
まとまった雨域のため、地上雨量観測所でも降雨の状況が把握できる
降雨があるので、ある程度、増水の危険は予想できる。

近年では、記録的な豪雨につながる例が少ない。

豪雨災害 (氾濫災害・土砂災害)

(土砂の移動が激しい)

- **タイプ2**：強い雨域が局所的な豪雨
雷雨性豪雨など、局所的な雨域(100kmスケール以下)を有するものが多い。
降雨域では、短時間の雨量強度が強いが、流域総降雨量は小さい。
災害発生地点では、降雨が無いか、あっても小さい。
急な増水を予想しにくい河道内の利用者や工事作業員が犠牲者となる例が多い。
(人的被害あり)
地上雨量観測網にかからない場合がある。
降雨が無い場合や小さい場合は、増水の危険は予想しにくい。

典型的な鉄砲水災害

(土砂の移動が少ない)

補足) タイプ2の鉄砲水対策 (工事安全管理の例)

- 鉄砲水を避ける有効な対策は、上流での水位の変化を、いち早く把握することである。

玉川での水位警報装置の例

- 過去の鉄砲水の発生状況を考慮し、水位警報装置を工事現場の2.5km上流に設置。
- 警報は特定省電力無線機を使用し、中継通信システムにより通信距離を確保。なお、緊急連絡は無線の使用を想定する。

人的被害も無く、被害を最小限に抑えることができた。

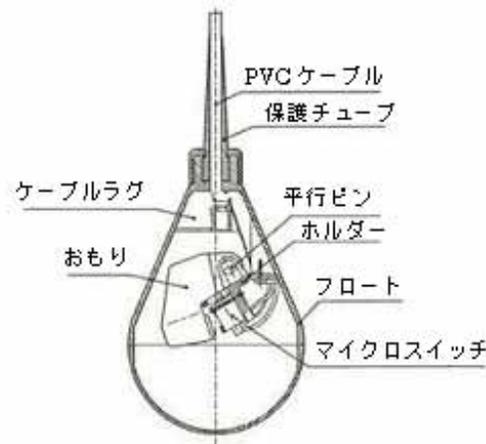


図 施工現場2.5km上流に設置した水位警報装置

「美しい自然とその猛威の中で～砂防工事における安全対策～」平成19年(谷吉兵衛・井上美嶺)

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性

- 鉄砲水はどのような地形特性のもとで発生しやすいか？

Ex. 水無川での鉄砲水(2008.7.27)

鉄砲水の急激な増水の状況が撮影された事例。

源流域では、15:00前後に80mm/hrを超えるような局所的な豪雨が発生した。なお、下流での降雨は10mm/hr前後未満であった。激しい流れは、一気に高水敷を冠水させている。



段波状に洪水波が流下



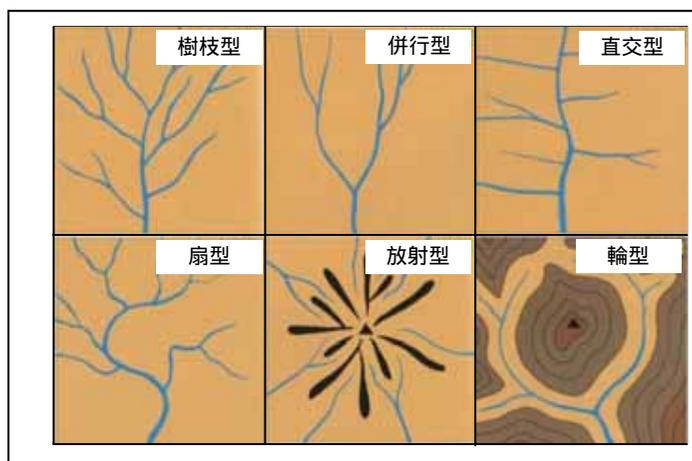
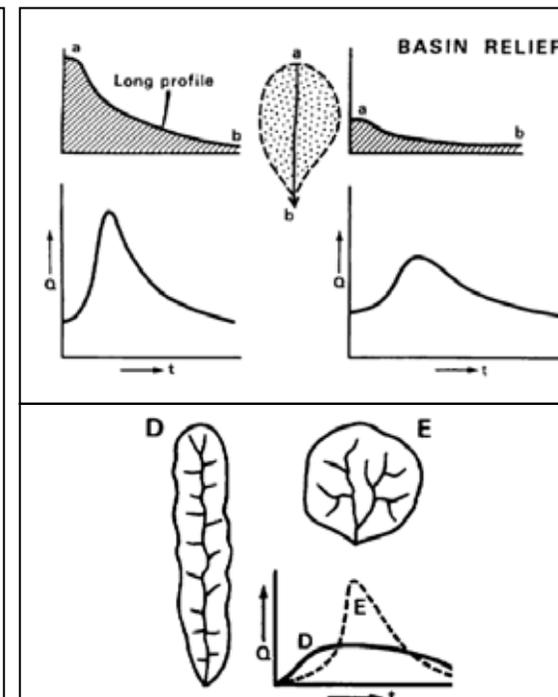
高水敷まで一気に増水



洪水敷も冠水して流下 (1.2~1.5mの水位上昇)

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性 ~ 既往の知見 ~

河系模様	頻出する地形場	流出特性
樹枝状 dendritic	種々の侵食階段の、普通の山地丘陵	漸移的に上昇
平行状 parallel	平面的な単純斜面、段丘や火砕流大地	緩く上昇し、一定
格子状 Trellis	壮年期～老年期的な山地・丘陵	漸移的に上昇
直角状 Rectangular	老年期的な山地、開析準平原	階段的に上昇
放射状 radial	火山、貫入岩体、ドーム状山地	緩く上昇し、一定
求心状 centripetal	沈降盆地、侵食カルデラ	急激上昇
環状 annular	中央火口丘をもつカルデラ底、ドーム	急激上昇
多盆状 multi-basinal	石灰岩台地、地すべり堆、火山、砂丘帯	池沼で湛水



流域形状が円形に近く、短い区間に集中して大きな支川が合流する“求心状”の河川では、ハイドログラフの波形がシャープになる。出水期間は短い。

流域形状が細長い河川では、ハイドログラフは緩やかであるが、出水期間が長くなる。

鈴木隆介「建設技術者のための地形図読図入門 3 段丘・丘陵・山地」(古今書院), 山本素石, 「山釣り図鑑」(山海堂), K. J. Gregory, D. E. "Walling, "Drainage Basin Form and Process -A geomorphological approach-"(1973), Strahler, A.N., "HANDBOOK OF APPLIED HYDROLOGY"(1964)

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性 ~ 災害事例の分析 ~

災害事例における河系模様の概況

- 本川と支川は直角に近い角度にて合流するものが多く、樹枝状～格子状のやや細長い流域が多い。
- あるいは、これに類する流域が連なる“平行状”を示すものが少なくない。

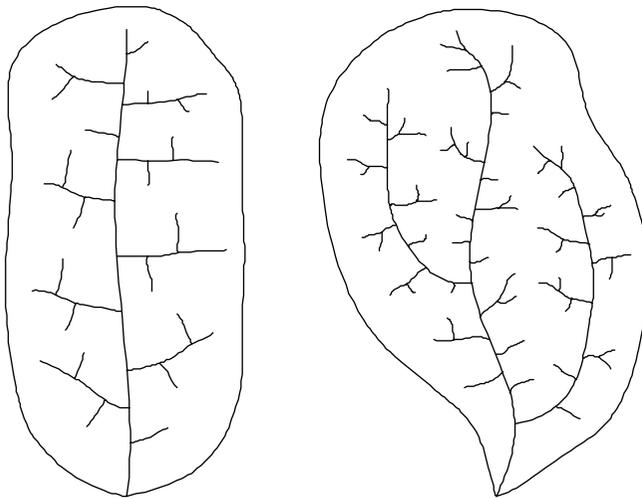


図 鉄砲水の発生事例に多い河系模様

災害事例より、比較的多い河系模様を模式的に示したものである。

細長い流域や細長い流域が連なっているものが多いが、形状係数として表現する場合、このような特徴は表現されにくい。これは、災害発生地点が源流に近い上流域であるため、流域形状として円形に近い形状になることが理由として考えられる。

地形特性の評価・分析

- 流域特性・河道特性による流出特性を表現する地形量として、特性曲線法による kinematic wave 法(等価粗度法)における流域定数、河道定数による地形特性の評価・分析を試みる。

$$\text{流域定数} \quad Ks = \left(\frac{N}{\sqrt{I}} \right)^{0.6}$$

$$\text{河道定数} \quad Kr = b^{0.4} \left(\frac{n}{\sqrt{i}} \right)^{0.6}$$

- N : 流域等価粗度
- I : 流域平均斜面勾配
- b : 河道平均幅 (評価地点の河道幅とした)
- n : 河道の粗度係数
- i : 河道の勾配(河床勾配)

表 地目別流域等価粗度

土地利用形態	標準値
水田	2.0
山林	0.7
丘陵・放牧地・公園・ゴルフ場・畑地	0.3
市街地	0.03

「水理公式集 平成11年版」

「中小河川計画の手引き(案)」平成11年9月

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性 ~ 地形特性の分析 ~

表 鉄砲水災害事例における流域定数 (K_s) と河道定数 (K_r)

河川名	K_s	K_r	K_s/K_r	河川名	K_s	K_r	K_s/K_r
湯檜曾川	0.99	1.63	0.61	津留川	1.06	1.26	0.84
(全流域)	1.01	1.71	0.59	炭谷川	0.83	0.75	1.10
四戸ノ川左支川	1.17	0.38	3.08	芝原川	0.97	0.58	1.68
前田川	1.05	0.96	1.09	藤木川	0.44	1.04	0.43
奥畑川	1.16	0.77	1.50	日之影川	0.97	2.49	0.39
志平川	1.03	0.57	1.80	綱ノ瀬川	0.99	0.95	1.04
酒匂川	1.19	2.80	0.42	(全流域)	1.03	1.90	0.54
(全流域)	1.07	5.75	0.19	湯の坪川	1.29	0.65	1.98
玉川	1.00	2.49	0.40	岳本川	1.03	0.47	2.17
(全流域)	1.07	3.12	0.34	屋堂羅川	0.96	0.62	1.55
富並川	1.06	1.49	0.71	(全流域)	0.95	0.75	1.26
(全流域)	1.08	1.77	0.61	角谷川	1.05	0.63	1.66
櫛田川	1.72	6.29	0.27	油井川 (全流域)	0.99	0.77	1.28
(全流域)	1.01	7.84	0.13	那久川 (全流域)	1.10	0.74	1.49
見市川	0.99	0.71	1.39	八尾川 (全流域)	1.09	2.81	0.39
(全流域)	1.16	2.78	0.42	中村川 (全流域)	1.03	1.12	0.92
白土川	0.99	0.36	2.76	都万川 (全流域)	1.08	1.96	0.55
鉄山川右支川	1.13	0.51	2.22	重栖川 (全流域)	1.12	2.06	0.54
宇地泊川	0.15	0.74	0.21	久見川 (全流域)	1.14	1.43	0.80
(全流域)	0.15	1.31	0.12	底瀬川 (全流域)	1.04	0.75	1.39
阿武隈川	1.23	1.65	0.75	呑川	0.12	1.42	0.08
柏川	0.98	0.87	1.13	東黒沢	0.95	0.83	1.14
(全流域)	0.98	1.44	0.69	(全流域)	0.97	1.07	0.90
志道原川	0.94	0.47	2.00	都賀川	1.00	1.03	0.97

$K_s/K_r > 1$ 土砂移動が顕著なグループ (土砂災害が発生しているなど)

$K_s/K_r < 1$ 土砂移動が少ないグループ

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性 ~ 地形特性の評価 ~

- 土砂移動が顕著なグループと土砂移動が少ないグループに分離される。
- 左側ほど土石流の領域であり、右側ほど洪水の領域となる。

A: 土石流に近い現象までが含まれる土砂移動が顕著なグループ

B: 短時間の急激な増水の特徴とする土砂移動が少ないグループ

C: Bに比べると水位の上昇がやや緩やかで、土砂移動も少なく、小規模洪水と表現しても良い現象を示すグループ

現象として土石流や小規模洪水に区分されるべきであると考えられる事例ほど、分離線より離れた位置にある。

河床勾配1/30 ~ 1/50 (1 ~ 2°) の土砂災害を伴っている事例、河床勾配1/20 (2.8°) の土砂災害を伴っていない事例も分離できている。

鉄砲水の発生しやすい流域について、ある程度評価できる可能性が高い。

ただし、定数の持つ物理的な意味については留意する必要があるものと考えられる。

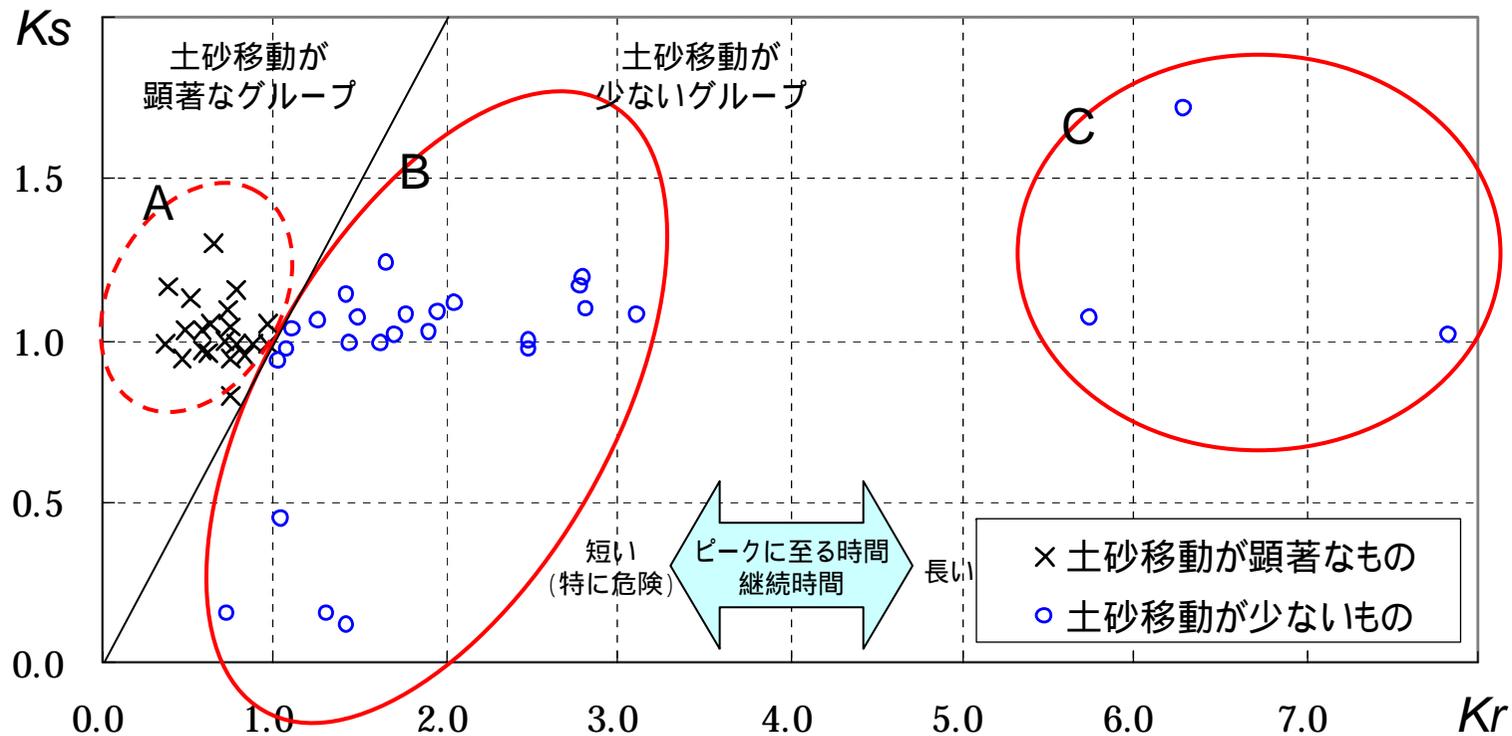


図 災害特性と災害発生地点における流域定数 (K_s) と河道定数 (K_r)

5. 鉄砲水の発生しやすい地形特性 ~まとめ~

まとめ

- 地形特性(流域特性・河道特性)の観点より、鉄砲水の潜在的な危険度を評価できる可能性がある。
- 流出特性を表現する地形量である流域定数と河道定数を採用することで、任意の地点における鉄砲水発生の潜在的な危険度を相対的に評価できる可能性がある。

適用のイメージ(Ex. 親水利用の評価と適切な利用の誘導)

- 全国の河川には、親水利用を目的とした施設が、数多く整備されているが、これらの中には、鉄砲水の発生する危険性が高いものが含まれている可能性は否定できない。しかし、現段階では、鉄砲水災害の危険性についての評価は難しく、相対的な評価の判断もできない。
- 鉄砲水の発生するような山地小流域では、データ等が十分でないことが多いが、本手法は、比較的適用が容易であるという特徴があり、これらの親水利用を目的とした施設の鉄砲水に対する危険度の評価が可能であると考えている。
- 本手法は、災害事例をプロットしていくことで、より一般的な傾向としての災害特性の把握が可能になると考えられる。鉄砲水の発生しやすい流域(区間、地点)の評価のみならず、データの充実により、潜在的な災害特性の評価の可能性を有しているものと考えられる。

今後の課題

- 今後は、当該手法を全国の親水施設について適用し、鉄砲水による災害の危険性が高い施設を抽出し、適切な利用を誘導するためのツールとして活用することを想定している。