

◆ 報 文 ◆

世界における Flash Flood の現状と今後の課題

西本晴男* 三雲是宏** 栗原淳一***

1. はじめに

Flash Floodによる災害は、世界各地の山地河川で発生している。このFlash Floodという現象は、平地部の洪水と比べると局所的に発生しその被災範囲は小さいが、土砂や水が突発的に流出するため、その発生予測が難しい。このため人命被害を伴う場合が多く、住民の脅威となっている。

本稿では、Flash Floodについて事例調査を行い、その発生形態、対策および研究動向について報告する。

2. 対象とする現象

「Flash Flood」現象とは日本語では鉄砲水といわれているが、種々の形態があり明確な定義は存在していない。

気象科学事典¹⁾によると鉄砲水とは、「短時間に強い雨が降って谷川などの水位が急激に上昇し、堰を切ったように押し寄せる水。山崖崩れの土砂が流れをせき止め、それが崩れて土石流となることもある。英語のFlash Floodは、カメラのフラッシュのように急激な出水の意」とされている。

また、国連関連機関の災害データベースにおいて「Flash Flood」と呼ばれている災害の中には、山地河川におけるFlash Floodから河川下流部におけるFlash Floodまでの様々なものが含まれている²⁾。これらの中で人的被害軽減の観点から特に重要視すべきは前者である。本稿においては、Flash Floodを山地河川における急な出水と定義する。

なお、前述の災害データベースは、次の理由から、現象等の詳細な内容を把握するには不十分で

あるため今回は用いなかった。

- (1) 当該データベースにおいて、1998年から2004年までに登録されている災害名が「Flash Flood」となっている災害全58件中、9件のみが本稿の定義に該当する災害である。
- (2) 当該データベースの情報ソースは主に、報道機関のWEBサイトに掲載された記事であり、被害状況に関する情報のみである。

3. Flash Flood の発生形態

3.1 情報検索方法

Flash Floodの発生形態についての情報は、次の学会誌および機関誌を対象に収集した。

- ・砂防学会誌及び新砂防 (1948年 - 2004年)
- ・砂防と治水 (1968年 - 2004年)
- ・河川 (1942年 - 2004年)

Flash Floodの発生事例は、表-1に示すキーワードを含みFlash Floodにかかわる記述のある論文等を抽出した。表-1のキーワードは、Flash Floodのうち、「山地河川における急な出水」の概念に含まれる現象、もしくはその発生の要因や場所に関連する語句を選定している。

抽出したこれらの論文等を分析した結果、発生形態を記述しているものが33件あった。

3.2 発生形態による事例分類

Flash Floodの発生形態を、発生原因、発生した地域の特性により整理した。Flash Floodの発生事例数を発生形態および国別にまとめたものを

表-1 Flash Flood 災害情報検索条件

キーワード	鉄砲水	土砂災害
	土石流	土砂流
	泥流	氷河湖
	雪崩	

Current Situation and Future Research Tasks about The Flash Flood in The World

表-2 発生形態別・国別のFlash Flood (F/F) の事例数

発生形態/国	ネパール	アメリカ	カナダ	フィリピン	イラン	ベネズエラ	インドネシア	台湾	韓国	グアテマラ	コスタリカ	ニカラグア	ブラジル	ペルー	スイス	オーストリア	合計
①斜面崩壊による (F/F)	3		3	2		2						1					11
②天然ダムの決壊による (F/F)	2							1	1								4
③火山灰の流出による (F/F)				1			1			1	1						4
④植生に乏しい半乾燥地帯における (F/F)					2									1			3
⑤山火事や大気汚染による荒廃地での (F/F)		2											1				3
⑥雨水や融雪水の急激な谷間への集中による (F/F)		3															3
⑦氷河湖の決壊による (F/F)	2																2
⑧雪崩による (F/F)			1														1
⑨不明															1	1	2
合計	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33

表-2に示す。これらの発生形態の特徴を大別すると次の2パターンになる。1つ目のパターンは、何らかの原因で河道がせき止められた後、決壊しFlash Floodを発生させる場合で、発生形態の②と⑦がこれに該当する。2つ目のパターンは、河道閉塞を伴わずに発生する場合で発生形態の①、③、④、⑤、⑥、⑧がこれに該当する。

① 斜面崩壊によるFlash Flood

豪雨等により発生した崩壊土砂が溪流に入り、天然ダムを形成せずに土石流となって流下するケースである。この現象の例としては2003年フィリピン³⁾における事例が該当する。

② 天然ダムの決壊によるFlash Flood

崩壊土砂や流木により溪流が閉塞され天然ダムを形成し、その後決壊するパターンである。1995年のネパールにおける災害⁴⁾がこれに該当する。小規模な崩壊で谷の出口付近に形成された天然ダムが、後の大規模な土砂流入によって決壊した。

③ 火山灰の流出によるFlash Flood

火山灰に覆われた斜面が豪雨により侵食され、土石流や泥流が発生する。これは、活火山が存在

するフィリピン、インドネシア、南米などに見られる。1995年フィリピンルソン島東部のピコール地方における災害⁵⁾では、1993年に噴火したマヨン火山により大量の火山灰が堆積していた。そこに豪雨があり、上流部の堆積物が土石流化した。

④ 植生に乏しい半乾燥地帯におけるFlash Flood

半乾燥地帯では植生が乏しく、豪雨により表土が大量に流失する。また、干ばつが続いた場合には地表の透水性が低下するため急激に流出し土砂流や土石流となることが多い。この現象の例としては、2001年イランのゴレスタン川における出水⁶⁾が挙げられる。

⑤ 山火事や大気汚染による荒廃地におけるFlash Flood

山火事や大気汚染により山腹斜面の植生が枯死し、④と同様な流出を引き起こす。これらの例としては、2003年のカリフォルニアにおける事例⁷⁾が挙げられる。これは山火事跡地に豪雨があったためである。また、1985年、ブラジルの工業都市クバトンにおいてもFlash Flood災害が発生している。原因は背後にそびえる急峻な山地斜面が排

煙により植生被害を受けており、荒廃が著しい状況にあったためである⁸⁾。

⑥ 雨水や融雪水の急激な谷間への集中による Flash Flood

このケースでは、降雨が大量に流出、谷間に集中することにより短時間で水位が上昇し被害を及ぼす。この例としては1982年アメリカサンフランシスコ周辺の事例⁷⁾が挙げられる。この災害では降雨の確率規模は100年以上と評価されている。この災害は警報システムの必要性を認識させた。

⑦ 氷河湖の決壊による Flash Flood

この現象はGLOF (Glacier Lake's Outburst Flood) とも呼ばれる。これは、モレーンと氷によって堰き止められた氷河湖に斜面から氷なだれや岩砕なだれが突入し、その衝撃で段波が発生しこれにより一気に下流へ流下するものである。災害事例としては、1985年ネパールの事例⁹⁾が挙げられる。災害当日の天気は良好であったが、上流の氷河湖に氷なだれが突入し、その衝撃で段波が発生し、大波がモレーンを決壊させた。

⑧ 雪崩による Flash Flood

雪崩が土石流化することがある。1983年カナダ¹⁰⁾では、雪崩が火山岩、堆積岩を巻き込みFlash Flood化し流下した。

4. Flash Flood 対策の実態

4.1 情報検索方法

Flash Flood対策についての情報は、表-3に示す学会誌、機関誌および国際機関・行政機関のホームページから収集した。学会誌、機関誌については、3.と同様の手法により検索し、Flash Flood対策の実態を把握した。また、国際機関等については海外協力を行っているJICA (国際協力機構)¹¹⁾を、また、行政機関としてはアメリカ合衆国のFEMA (連邦危機管理庁)¹²⁾を対象とし、そのホームページから資料を収集した。なお、各ホームページでは表-3に示すキーワードで検索し、内容を分析した結果、本稿において扱うFlash Floodと一致した事例を抽出した。

4.2 Flash Flood 対策の事例

事例抽出結果をもとに、ここでは、Flash Flood対策をハード対策とソフト対策に大別し整理した(図-1)。ハード対策としては最上流部における溪流対策工、溪流出口付近の堆積部対策工、山地斜面の山腹工などがあり、ソフト対策としては予警報・避難システム、ハザードマップ、土地利用規制、教育訓練などがある。以下に、特徴的な事例を紹介する。

(1) ハード対策

イランでは谷止め、護岸、堤防、洪水拡散施設、植林などの対策が実施されている。谷止めは施工箇所が散発的であるために、侵食防止効果があがっていない箇所もある。また、護岸や堤防は保全対象地付近に局所的に施工されている箇所が多い。植林については、気候条件の影響を強く受けているため木が育たず、疎林のままになっている箇所が多い。このほか、洪水を意図的に扇状地に平面的に拡散させ、地下水の涵養と災害防止の両方を目的とした洪水拡散施設がある¹³⁾。

カナダのプリティッシュ・コロンビア州では土石流の対策工として、①溪床の不安定上砂をモルタルで覆い、溪床を安定化させ溪岸を保護するための溪床モルタル吹き付け工、②土石流の堆積を防止して流下させる土石流導流工、③比較的小規模な土石流発生溪流を対策工の存在する溪流または計画されている溪流へ付け替える流路付け替えなどがある¹⁰⁾。

(2) ソフト対策

USGS (アメリカ地質調査所) ロサンゼルス事務所では、ロサンゼルス近郊で発生した土石流の分布図を作成するとともに、2mのDEM (数値標

表-3 Flash Flood 対策に関する情報ソース

資料	検索語句
砂防学会誌	3.同様 (ただし対策が記載 されているもの)
砂防と治水	
河川	
JICA ホームページ	Flash Flood
FEMA ホームページ	Flood Policy

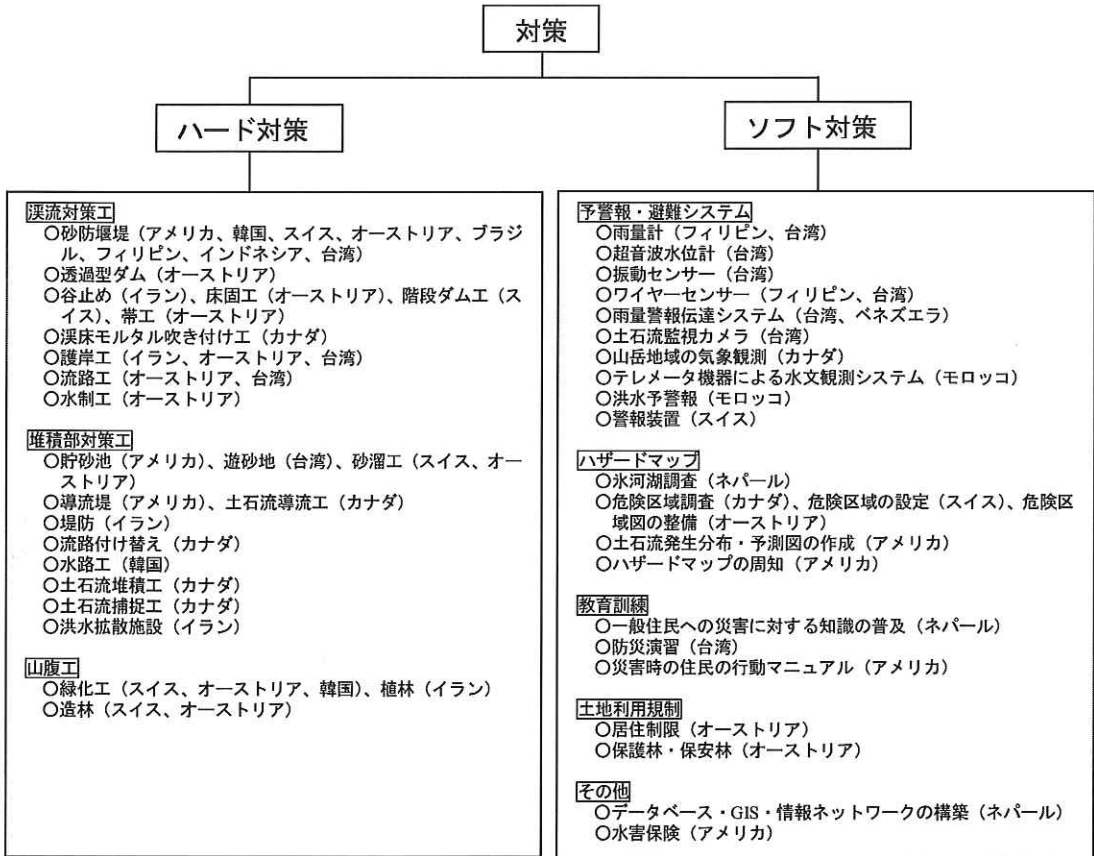


図-1 Flash Flood対策の分類

高モデル) を用いて勾配、斜面方向、標高、地質、年平均降水量および植生等を数値化し、これらのデータをもとに土石流発生予想図を作成している。また、山火事地域においては、過去の15箇所の山火事で398の流域から得たデータに基に、①25年確率雨量②10年確率雨量③2年確率雨量での土石流発生の確率地図及び最大流量の確率地図を発表した。このハザードマップは2003年雨季の直前に危険地内の住宅およそ16万世帯にその旨郵便で通達し、その他テレビ、ラジオ、ポスター、新聞などのマスコミを駆使して住民の土砂災害危険に関する認識を高めた⁷⁾。

オーストリアでは予防的ソフト対策として、危険区域図に基づいて、区域内の住居の建築行為を危険度に応じて制限している。危険区域内での保全対象物の増大に対し、ハード対策工だけでは対応できなくなり、居住の制限という間接的な対策

が実施されるようになった。危険区域は再現期間150年の災害規模を想定して区域設定が行われている。「赤色危険区域」は危険度が高く、想定される被害の規模と頻度から、恒常的な居住に使用することが不可能な地域であり、新たな建築は禁止される。「黄色危険区域」は恒常的な居住のための使用が支障を受ける区域であり、建築は条件付で許可される¹⁴⁾。

台湾では2004年8月の災害時に、台中県の松鶴一溪、松鶴二溪で、雨量データに基づく発生予測情報により、住民は発生の数分前に避難し、人的被害は生じずに済んだ¹⁵⁾。

5. Flash Floodの研究動向

5.1 情報検索方法

Flash Floodの研究動向をみるために、海外の研究論文およびホームページを参照した。海外の

論文としては、Journal of Hydrology 及び Journal of Hydrologic Engineering を対象とした。タイトルもしくは Abstract に「Flash Flood」という語句が含まれている論文について、内容を分析し、本稿で扱う Flash Flood (山地河川における急な出水) に該当する研究事例を3文献抽出した。また、インターネットにおいては、「Flash Flood」かつ「study」をキーワードにして本稿で扱う Flash Flood に該当する研究論文を検索し、1論文を抽出した。

5.2 Flash Flood 研究の事例

これらの Flash Flood 研究に関する文献の概要を以下に示す。

(事例1)

Gaume ら¹⁶⁾ は、1999年にフランス Aude川で発生した Flash Flood について事後調査を行った。小さな流域であったことから、Flash Flood に関する物理的なデータが観測されていなかったため、Flash Flood の実態を把握できていないのが現状である。このため、ピーク流量とピーク時間の推定のために住民の目撃情報を用いる手法を提案している。Flash Flood 発生時の詳細な現地調査を行う場合、実際の降雨量、流量および流出量等のデータがないことが多い。

この研究は、このような問題を補う可能性を示した事例である。

(事例2)

Foody¹⁷⁾ らは観測データが得られない地域においてリモートセンシング画像 (Landsat TM 画像) より土地被覆や土壌分類などの陸面水文パラメータを推定する手法を用い、乾燥地帯における Flash Flood 予測モデルを構築した。使用したモデルはアメリカ陸軍工兵隊によって開発された分布型モデル HMS (the Hydrologic Modeling System) である。画像データより得られた土地被覆データは90%程度の正確性があると推定された。30mm/hの降雨が2時間継続した場合を仮定しシミュレーションを行った結果の氾濫範囲は、近年 Flash Flood 被害が発生した地域とほぼ一致

した。

この研究は、実測の流域特性が得られない地域において、リモートセンシング技術を活用することによる流出モデルの構築の可能性を示した事例である。

(事例3)

Dolcine¹⁸⁾ はフランス南部 Coveness の山岳地域レーダデータと衛星赤外線画像を用いた降雨予測モデルと、降雨流出モデルとを結合し1時間後、2時間後および4時間後の降雨流出予測を行った。降雨予測モデルは衛星赤外線画像より得られる雲頂の温度やレーダから得られる可降水量 (鉛直された水分量) や地上気象観測をパラメータとした分布型モデルであり、降雨流出モデルには集中型のモデルが用いられている。現時点の降雨量が予測時間まで持続すると仮定した発生予測モデルとの再現性の比較を行った結果、①1時間予測の結果は両手法とも良好な再現性であり大きな改善は見られない。②2時間予測では本手法の効果が非常によく現われており、降雨持続型モデルに比べ、実測流量と計算流量との RMSE (Root Mean Square Error) は40%程度低下した。③4時間予測では両手法とも良好な再現性は得られなかったが、ピーク流量のタイミングについては本手法において良好な結果が得られた。

この研究は、レーダデータと衛星赤外線画像を使用した、降雨予測モデル、流出予測モデル構築にむけた事例である。

(事例4)

Morris¹⁹⁾ は Parsons から Albright (West Virginia, US) までのエリアを対象として、土地利用・土地被覆、氾濫原の幅、地質、標高を指標としたハザードマップ作成に関する研究を行った。この区域内の Cheat川はよく洪水氾濫し、支流は豪雨時に Flash Flood が多発する箇所である。このハザードマップ作成手法は、①上記指標からそれぞれ危険区域を設定し重ね合わせる。②互いの指標間には危険度ランクの重みがあり、最も重要視される指標は土地利用・土地被覆であり、次に

標高、氾濫原の幅、地質と続く。③これらの総合的な危険度ランクからハザードマップを作成した。1979年以来FEMAはハザードマップを更新していなかったが、この研究によって新たな危険地域が指摘され、ハザードマップ更新の必要性が指摘された。

この研究は、土地利用、地形、地質および植生等の指標を用いたハザードマップ作成方法の事例である。

6. おわりに

世界各地の山地河川で発生しているFlash Floodについて、各種の文献等をもとにその発生形態、対策および研究について考察した。

Flash Floodに関する情報は少なく、かつ詳細なデータがないのが実態であることが明らかになった。多くの国でFlash Flood災害が発生しているが、国際的な技術協力を行っていく上からも、関係国が相互に情報交換し情報の共有化を図ることができる体制の構築が重要である。これにより、各国が自国の政治的、社会的、経済的実情にあった対策を効果的に実施していくことに寄与できると考える。

参考文献

- 1) 日本気象学会：気象科学事典，1998
- 2) 三雲是宏、笹原克夫、西本晴男：世界におけるFlash Floodの実態、土木技術資料、47巻1号，pp13-14，2005
- 3) 桜井 亘、加納敏行、津田 宏：2003年12月に発生したフィリピン南レイテ州の土砂災害、砂防学会誌，255，pp.33-38，2004

- 4) 杉本良作、宮島滋近、北原一郎、山田知充：自然災害とネパール治水防災技術センター、砂防学会誌，Vol49，No.2，pp.62-66，1996.
- 5) 長井義樹：フィリピンの土砂災害と最近の被害、砂防学会誌，205，pp.59-61，1996.
- 6) 長井隆幸：イランの土砂災害、砂防と治水，144，pp.68-70，2002.
- 7) 野口尚彦：アメリカ西海岸における土砂災害と対策の現状、砂防学会誌，252，pp.51-61，2004.
- 8) 大野宏之：ブラジルの砂防、砂防と治水，78，pp.38-41，1992.
- 9) 山田知充：ネパールの氷河湖決壊洪水、河川，553，pp.126-137，1992.
- 10) 北原一平：カナダB.C.州の土石流災害とその対策、新砂防，153，pp.11-17，1987.
- 11) JICA ホームページ：<http://www.jica.go.jp/>
- 12) FEMA ホームページ：<http://www.fema.gov/>
- 13) 長井隆幸：イランにおける土砂災害の現状と対策、砂防学会誌，241，pp.62-66，2002.
- 14) 丸井英明：オーストラリア、スイスにおける砂防、河川，562号，pp.55-65，1993.
- 15) 山越隆雄：土石流警戒避難システム検討会報告、砂防と治水，162，pp.107-112，2004.
- 16) Eric Gaume, Marc Livet, Michel Desbordes, J.-P. Villeneuve: Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999, Journal of Hydrology, 286, pp.135-154, 2004.
- 17) Giles M. Foody, Eman M. Ghoneim, Nigel W. Arnell: Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment, Journal of Hydrology, 292, pp.48-58, 2004.
- 18) L. Dolcine, H. Andrieu, D. Sempere-Torres, D.Creutin: Flash flood forecasting with coupled precipitation model in mountainous Mediterranean basin, Journal of Hydrological Engineering, 6, 1, pp.1-10, 2001.
- 19) Annie Morris: Flood Risk, <http://www.nrac.wvu.edu/rm493-591/fall2000/students/morris/>, Natural Resource Analysis Center.

西本晴男*



独立行政法人土木研究所土砂管理グループ土砂管理グループ長
Haruo NISHIMOTO

三雲是宏**



独立行政法人土木研究所土砂管理グループ火山・土石流チーム
交流研究員
Yukihiko MIKUMO

栗原淳一***



独立行政法人土木研究所土砂管理グループ火山・土石流チーム
首席研究員
Junichi KURIHARA