

◆ 報 文 ◆

世界における Flash Flood の特性と今後の研究課題

栗原淳一* 山越隆雄** 寺田秀樹***

1. はじめに

前報では、Flash Flood について、関係機関で整理されている定義や情報検索を通じて発生形態及び対策の実態について情報収集を行うとともに研究のレビューを行った¹⁾。Flash Flood は、世界各地の山地河川で発生しており、局所的に発生しその被災範囲は比較的小さいものの、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とされ、人命の被害に直結しやすい。前回の報告以降に収集した Flash Flood に関する資料に基づいて、今回は、①関係機関が示す Flash Flood の特性、②土砂濃度が比較的低いと思われる事例、③ Flash Flood が発生する社会的背景等、各々紹介して、その実態を明らかにする。

2. Flash Flood の特徴

前回、Flash Flood を「山地河川における急な出水」と定義して、これらに該当すると思われる災害事例を収集して、その特徴を整理した。今回、関係機関が示している定義に関する資料を収集し

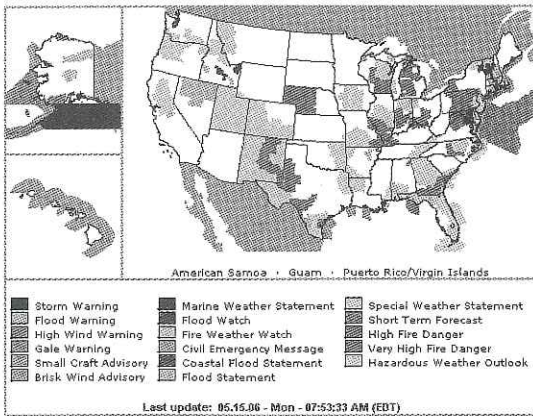


図-1 NOAA のウェブサイト
(<http://www.noaa.gov/>)

たので、それらを基に Flash Flood の特性を更に分析してみる。

2.1 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気圏局)

Flash Flood を、豪雨により短時間（一般的に 6 時間以内）に急激に引き起こされる洪水と定義し、最大の死者数をもたらす気象災害であるとしている。NOAA のウェブサイトには、Flash Flood の定義、過去の災害、全米の気象状況と河川の流況がモニターされ、強雨がいった場合には Flash Flood の発生が予報されることとなっている（図-1）。

2.2 USGS (U.S. Geological Survey 米国地質調査所)

流れに流木や大径礫からなる debris が含まれていると急勾配の区間では、それらが先端部に集中して移動する。その結果、先端部の摩擦が大きくなることから、Flash Flood は土石流に似てくるとしている。Flash Flood は、過度の降雨による流出が河川の水位を急激に上昇させ、普段は乾燥している流路に急に水が流入した際に発生する。乾燥気候の地域では、土壌や植生の欠如により、激しい降雨が地中に浸透せずに地表を流れやすくなるため、Flash Flood が起こりやすくなるとしている。

2.3 ICIMOD (International Center for Integrated Mountain Development 国際総合山岳開発センター)

2005 年 10 月にラサで行われた Flash Flood に関するワークショップにおいて、Flash Flood の特徴が沖積河川の洪水と比較する形で説明されている（表-1）²⁾。ピークに至る時間が 2～3 時間以内としており、USGS が記す「6 時間以内」と比べ短い。また、ヒマラヤ地方では、氷河湖決壊による Flash Flood (Glacial lake outburst flood : GLOF) により、壊滅的な被害が発生してきたが、その原因としては、氷河なだれ、氷を核とした氷

Characteristics and Future Research Tasks about Flash Flood in the World

堆積ダムの融解などを挙げている。

2.4 インドネシアにおける Banjir-Bandang³⁾

インドネシアではFlash Floodに相当する災害は、Banjir-Bandangと呼ばれてきた。インドネシア語で、Banjirとはflood(洪水)、Bandangとはlarge(大きい)という意味である。この言葉は、洪水時における堤防決壊時等に発生する急激な流水の氾濫状態に対してBanjir(flood)現象の一形態として名付けられたものの、今では突然かつ急激な流れを伴う大規模な洪水は全てBanjir-Bandangと呼ばれているようである。その特性は前述の2.1~2.3で挙げたFlash Floodのそれと極めて類似し、「突然発生し、数mから10m程度の波高を持った段波状の流れが一挙に押し寄せること」、「継続時間は長くて数分から10数分程度と短時間であること」と認識されている。なお、2006年1月2日にインドネシア東部ジャワ州Jember県Denoyo川で100名余が犠牲となった土砂災害も、現地ではBanjir-Bandangとして報道された³⁾。

以上2.1~2.4をまとめると、冒頭に述べた山地河川における急激な出水という表現に収斂すると思われるが、NOAAのいう「6時間以内」という

時間はアメリカのような広大な流域面積を有する河川では適するものの、急峻な地形を呈する山地にまで居住区域が入り込んでいる日本をはじめとする地域には長すぎると思われる。

3. Flash Floodの発生原因

水山は、土石流の発生原因を、発生の方と水の与えられ方から次のように分類している⁴⁾。すなわち、発生の方としては、①山腹斜面に崩壊が発生し、それをきっかけに谷に堆積していた土砂(溪床堆積土砂)を取り込み土石流になる、②崩壊土砂が谷を塞ぎ止め、天然ダムを形成し、これらが決壊するときに土石流となる、③大雨や地震によって発生した比較的規模の大きな崩壊がそのまま土石流に変化する、④火山噴火で新しく山腹斜面に堆積した土砂が降雨時に侵食されて土石流となる、というものである。一方、水の与えられ方としては、①降雨強度の大きな降雨、②火山噴火時に火砕流が発生して山頂付近の雪氷・氷河を急激に融解する、③火口湖が噴火で溢れる、④急激な融雪、⑤氷河湖の決壊、⑥ダムの決壊、⑦地すべりや雪崩がダムや湖に落下して水が大量に溢れる、であり、実際にはこれらの組み合わせで発生していると考えられている。

Flash Floodは、概念的には土石流のように砂礫と流水が一体となって流れ土砂濃度が極めて高いものから、突然水位上昇して水だけが流れる土砂濃度が低いものまで含まれる。後述する2000年に谷川岳で発生したFlash Floodは、ほとんど土砂が含まれていなかったことが報告されている。また、写真-1は1987年にスイスのZavraviaで発生したFlash Floodの先端部を撮影した貴重な写真である⁵⁾が、土石流に比べ土砂濃度は低いように見える。残念ながら水文データ等がないため詳しい解析はできないが、土砂濃度は低くてもこのような先端部を形成してFlash Floodが突然発生することが分かる。世界各地で発生しているFlash Floodが全てこのような形態とは考えにくいだが、単に降雨強度が急激に上昇するだけでは写真-1のような現象や突然発生とするFlash Floodの特性を説明することは難しく、土砂濃度が低いFlash Floodも土石流の発生原因とかなり類似したメカニズムで生じている可能性がある。つまり、流量規模に対し、溪床上に堆積している土砂等の

表-1 Flash Floodの特徴²⁾

	沖積河川の洪水	Flash Flood
誘因	例年の降雨	集中豪雨
	例年の降雪と氷河の融解	気温の上昇に因る雪氷の急激な融解
頻度	例年の雨季に発生	年間をとおして突発
	被災地域	被災地は広い
被災地域	沖積地ならびに谷底平野	沖積地ならびに谷底平坦地
	地域から広域	沖積扇状地
災害	洪水の氾濫	砂礫と岩石ならびに流木等固体の混入
		強大な掃流力と侵食力
特徴	水位の上昇速度が小さい	水位の上昇速度が大きい
	数時間ないしは数日後に尖頭流量になる	数分もしくは2~3時間で尖頭流量になる
	水位は数時間ないしは数日後に低下する	水位は数分ないし2~3時間で低下する
	基底流量をもつ	流水は消失する
減災手段	降雨と流出のピークの時間差が大きい	降雨と流出のピークの時間差が短い
	洪水予報・警報	早期警報
問題	自衛水防活動と啓発	自衛水防活動と啓発
	緊急対応行動	緊急対応行動
問題	予測・予報が容易	予測・予報が極めて困難

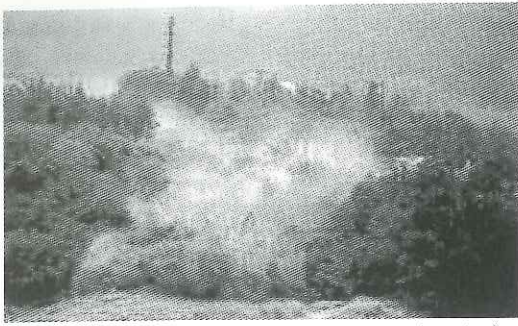


写真-1 スイス ZavrugiaのFlash Flood (1987) ⁵⁾

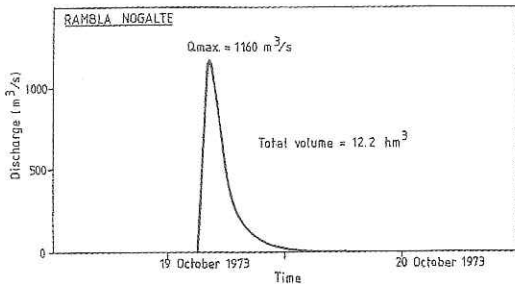


図-2 1973年10月 スペイン・Rambla Nogaltaで発生したFlash Flood (Poesen他 (1997) より引用) ⁶⁾

割合が多ければそれらが取り込まれて土石流となり、その割合が少なければ、土砂濃度の低い流れになるという考えである。そして、このような流れを形成するためには、天然ダムの決壊のような要因が関係していることが考えられる。Flash Floodの発生原因については、実際の流れを水理学的に観測したり、発生現場を詳細に調査する必要があるが、これまでのところ研究事例が少なく、今後の課題である。そして、この課題は、山地流域での流量・水位の観測が砂防の現場も含め重要であることを示唆するものである。

なお、Poesenらは、地中海地方や半乾燥地帯一般における洪水現象の特徴を三つ挙げているが、そのうちの一つは極端に速い流量の増大である⁶⁾。図-2は、Poesenほか(1997)に示されている、Navarro(1991)が南スペインのRambla Nogaltaで計測に成功したFlash Floodのハイドログラフである。ピーク流量が1,000m³/sを超える規模の大きいFlash Floodであるが、急な立ち上がりを示している。このハイドログラフは、ほとんど垂直に近い流量の増大傾向を示しており、このような洪水はしばしば「水の壁」と表現されていると記している⁶⁾。「水の壁」という言葉は、Flash Floodの特性をよく表現している。

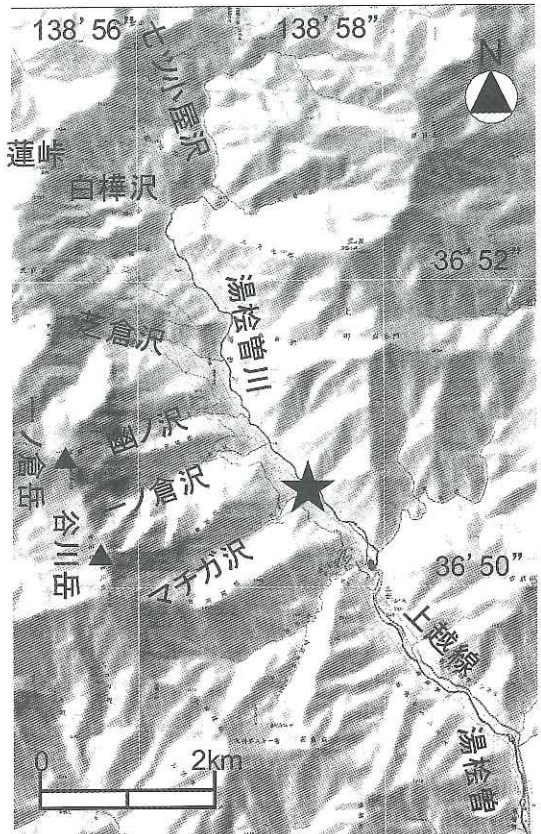


図-3 2000年湯掛曾川で発生したFlash Flood位置図⁷⁾
★印は、被害発生地点を示す。

4. Flash Floodの事例

4.1 2000年谷川岳・湯掛曾川で発生したFlash Flood⁷⁾

2000年8月6日15時頃、群馬県水上町湯掛曾川のマチガ沢付近でFlash Floodが発生し、1名が死亡、1名が重傷を負った。位置図を図-3に示す。調査結果によると、土砂の流出はほとんどなく、土砂濃度の極めて低いFlash Floodであったと考えられる。被災者の証言によると、「いきなり腰ぐらいまで水位が増した」「ザーという音がした」「幅5m程度であった湯掛曾川の川幅が15分程度の中に20～25m程度まで拡大した」とあり、2時間以内にはほぼ元の水位に戻ったとされている。なお、一行が出水に遭遇したとき、周囲では雨が降っていなかったものの、レーダー雨量計によると湯掛曾川上流域で局地的に最大20mm/hの降雨が記録されていた。当時の土木研究所砂防研究室の痕跡水位調査と、洪水流シミュレーション結果を総

合すると、Flash Floodの到達時間等は計算と実態が整合的であるものの、ピーク流量については洪水流シミュレーションによる降雨の直接流出量に無降雨時の融雪を含む低水流量を加えても十分には説明することができず、上流に残っていた雪渓が降雨の影響を受けて崩壊または融解し、Flash Floodの発生に関与した可能性が考えられるとしている⁷⁾。

4.2 1995年モロッコ・Ourika谷で発生したFlash Flood

1995年8月17日モロッコの南西部を代表する都市 Marrakech の南東約40kmに位置する流域面積495km²のOurika谷の上流域で、豪雨により大規模なFlash Floodが発生し、200人以上が犠牲となった(図-4)。災害のあったOurika谷周辺の年間降水量は約500mmで、夏季はほとんど降雨量がない。Flash Floodが発生した当日は、Ourika谷の上流では100mm/hを超す豪雨があったものの下流では2時間で3mm程度の降雨しか記録されていない。しかしながら、下流でも1時間未満で流量が増加し、数分で1,000m³/sに達した(図-5)。高山部では、雨水に赤みがかった泥が混じり、雹も混ざっていたとされ、水とともに流木や岩、車などが流されるとともに、悪臭やジェット機のような轟音、震動が洪水通過時にあったことが報告されており、土石流に近い形態であったことが想像される。

このFlash Flood災害において、多数の犠牲者が生じた原因の一つは、大半が観光客であったことである。200人以上の死者のうち、地元住民は20人弱で残りは観光客であったとみられる。これは、周辺が乾燥気候の砂漠地域のなかでOurika谷流域が、緑と清流に恵まれた保養地として1980年代以降多くの観光客が訪れるようになったことが背景にある。モロッコ国内だけではなく、ヨーロッパ各地からも多数の観光客がこのOurika谷を訪れている(写真-3)。それに伴い、多くの車両も入り、JICAが行った調査によると、最盛期には平日で2,000人、休日には6,000人、車両も休日には約1,300台入っているという報告⁸⁾がある。

なお、このOurika谷では、2006年4月10日に激しい集中豪雨に見舞われ、再びFlash Floodが発生した。MAP (Agence Maghreb Arabe Presse) によると、この洪水は、JICAの協力で

よって導入された洪水予警報システム (SPAC) によってただちに検知され、住民の事前避難を可能にしたとしている。地元の報道によると、11mm/hr~39mm/hrの降雨強度の激しい集中豪雨があり、15:10頃にピーク流量101m³/sを記録した。システムを管理する水管理事務所はただちに対応して、県、市町村そして施設等の出先事務所に対して、洪水の予報を通告するとともに、その40分後には同渓谷内の住民の避難と観光客の立ち入りを禁止するため道路を通行止とするよう要

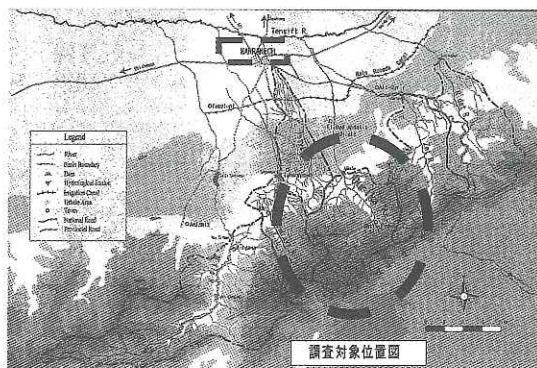


図-4 Ourika谷位置図⁸⁾

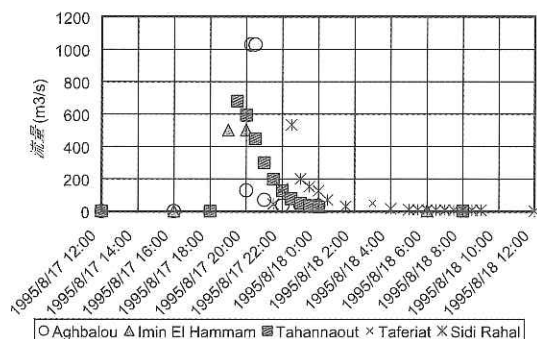


図-5 1995年8月Ourika谷周辺溪流の流量⁵⁾

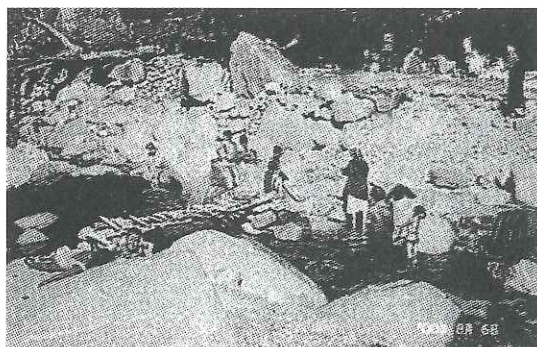


写真-3 夏のOurika谷の状況⁵⁾

請を発出したとしている。情報を総合すると、流量規模は1995年の時に比べかなり小さかったようであるが、前回の災害の教訓が地元には浸透しているようである。運用が始まった2003年以降、これまでに4回の警報を発している。警報は、観光客等を考慮して、アラビア語だけでなく、フランス語、英語、イタリア語でもなされているとのことである。

4.3 1976年アメリカ・Big Thompson川で発生したFlash Flood

Flash Floodが発生しやすい山地河川は、観光地やレクリエーション施設の間であることが多く、Ourika谷に限らず世界各地で観光客等が犠牲となるケースが発生している。例えば、1976年7月31日、アメリカ・デンバーの西方に位置するBig Thompson川のFlash Floodも、谷沿いに国道34号線が通る、ロッキー山脈のなかでも指折りの景勝地で発生した。災害当日はコロラド州創立100周年記念日の前夜ということもあり約3,000人の観光客が谷でキャンプをしたり、谷沿いにあるホテルで休養したりしていた(図-6)。豪雨は、午後6時過ぎに始まり、夜11時まで続いた。最大時間雨量は305mmという記録もあり、極めて希な豪雨を記録したと思われる。死者・行方不明者は約140名、全半壊の建物被害が約250棟に対し、自動車の被害が約400車両、うちトレーラーハウスが約100であった。災害前は、谷底に家を建てたり、できるだけ溪流沿いで運転をしたいという住民・観光客が多かったが、この災害を契機に谷底の居住は禁止され、用地は州政府によって買収された。また、谷沿いに走る高速道路は、高い位置に付け替えられるとともに、Flash Floodの危険があるときには高いところへ登れという指示標識が設置され、運転者に注意を促している。Flash



図-6 Big Thompson Canyon周辺の衛星画像
(Google Earthより)

Floodの教訓が、活かされている事例といえる。

5. 災害ポテンシャルの増大

Flash Floodに限った問題ではないが、海外のFlash Flood災害を考える際に、人口の増加、地球温暖化、危険な山地部への定住化が挙げられる。このうち、Flash Floodの発生が予想される危険な地域への開発、定住化の典型例を紹介する。

1993年7月にネパール中部のBagmati川流域では、洪水、土石流災害等により死者1,300名以上が亡くなる大災害が発生したが、写真-4は、その一つPalun川の支川Bagheから流出した土石流災害現場の10ヶ月後の状況である。写真から、被災した土石流氾濫域に、再び家屋が建てられていることがわかる。土石流の危険性が明らかであるにもかかわらず、そこに住まざるを得ない状況がある。

写真-5は、スイスのValais州Sierre市の郊外でロース川中流部に流入するPhynwald川の扇頂

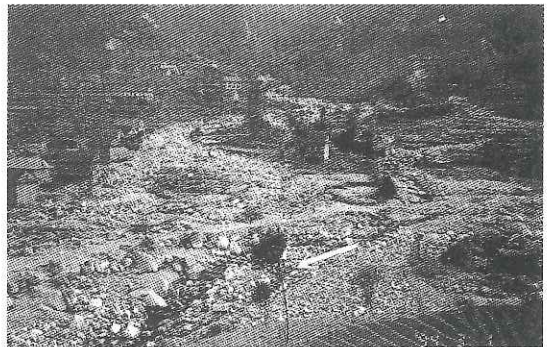


写真-4 ネパールBanghe川の状況
(1994年3月渡辺正幸氏撮影)

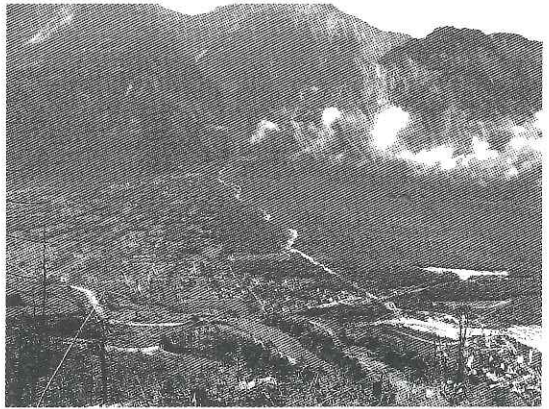


写真-5 スイスPhyndelwalt川の状況
(渡辺正幸氏撮影)

部である。川を境に左岸側は松林として保存され、右岸側は上流側が牧草地として、下流側が居住地として1990年代まで利用されてきたが、所得の一層の増大を望む土地所有者と住民の意向で右岸側の上流もテント村とスポーツ施設が建設された。扇頂部には、雨量計や土石流監視用テレビカメラが設置されているが、土石流に対する脆弱性が增大している。

6. Flash Floodに関する研究

Flash Floodの発生に関する研究は、これまで気象学的なアプローチや水文学的手法による研究が多かったといえる。一方で、我が国の土石流研究に見られるような物理的な手法を用いた研究事例は少ない。これは、Flash Floodが発生する現場を特定し、現地で実際にFlash Floodを継続的に観測することが予算面、スタッフ等の問題から困難であることが関係していると思われる。最近では、衛星を活用し気象学的な手法によりその危険性を予測する研究事例が増えている。一方、現地で水位、流量、土壌の水分特性を詳細に調査して、Flash Floodの発生の研究を進める動きも活発になってきている。また、EUでは、Flash Floodに関する研究プロジェクト (HYDRATE) が開始される。Flash Floodが発生した溪流で洪水痕跡の調査を実施する等、基礎的な調査を行うことが予定されている。

7. 今後の課題

Flash Floodの特徴について、関係機関が示すデータや災害実績を基に考察を行った。研究的視点から見れば、Flash Floodの発生メカニズムは、体系的な解明がなされていないので、まずは実態

を把握するという意味で、水位・流量の計測が重要となる。我が国の山地河川においても観測体制並びに観測結果の解析の充実が求められる。Flash Floodを海外の災害ととらえるのではなく、我々の現場においても問題意識を持ちながら調査を進めることが肝要である。

なお、執筆にあたり、渡辺正幸氏には各国のFlash Floodの実態調査の支援を頂くとともに、貴重な資料を提供頂いた。この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 西本晴男、三雲是宏、栗原淳一：世界におけるFlash Floodの現状と今後の課題、土木技術資料Vol47, No.7, 2005
- 2) Juerg Merz : FALSH FLOODS AND THEIR MANEGEMENT IN THE HINDUKUSH-HIMALAYAS, International Workshop on Flash Floods and Sustainable Development in Himalayas, 2005.
- 3) 渡部文人、植田芳弘、城ヶ崎正人、中西浩司：ジュンブルBanjir-Bandang災害（インドネシア東部ジャワ州ジュンブル県）災害報告、砂防学会誌, Vol.58, No.6, p.31-38, 2006.
- 4) (社)地盤工学会：ジオテクノート12 土石流, 2003.
- 5) Demands on flood protection '95:Federal office for Water Management Federal Department of Transport, Communications and Energy
- 6) J.W.A.Poesen and J.M.Hooke : Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe, Progress in Physical Geography 21, 2, pp.157-199, 1997.
- 7) 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・湯松曾川で発生した出水について（速報）、砂防学会誌 Vol.53, No.5, p.37-43, 2001.
- 8) JICA モロッコ国：アトラス地域洪水予警報システム計画調査、2004年.

栗原淳一*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム上席研究員
Junichi KURIHARA

山越隆雄**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム主任研究員、農博
Dr. Takao YAMAKOSI

寺田秀樹***



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
長
Hideki TERADA