

# 気候変動下の水・土砂災害適応策の研究

Study on adaptive measures against water-related disasters under the climate change

小松 利光<sup>1\*</sup>・橋本 彰博<sup>2</sup>  
Toshimitsu KOMATSU<sup>1\*</sup> and Akihiro HASHIMOTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院 工学研究院

<sup>2</sup>福岡大学 工学部

<sup>1</sup>Department of Urban and Environmental Engineering, Kyushu University

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Fukuoka University

## 概 要

地球温暖化の影響によると思われる災害外力の増大が明らかとなり、水・土砂災害の甚大化が進んでいる。これに対する早急な対策が喫緊の課題となっている。河川堤防の脆弱性が明らかになる中、河川水位の上昇を有効に抑えるのは、ダムが最も効果的かつ現実的であるが、その中でも自然環境との調和、インパクトの軽減等を考慮すると流水型ダム(穴あきダム)が最も適している。これまでダム建設は無駄な公共事業の象徴のように言われ社会から疎まれてきたが、気候変動下では極めて有望な治水対策として見直されなくてはならない時期にきている。早急な世論の認識の深まりと改善を期待したい。しかしながら、ハード整備には当然限界があり、最大のレジリエンスである人命の損失ゼロのための自助・共助を支える自主防災組織等の構築が不可欠である。本文では自主防災組織の構築・維持のための智慧や工夫についても紹介する。

キーワード：自主防災会、適応策、水・土砂災害、流水型(穴あき)ダム、レジリエンス

Key words : residents' association for disaster prevention, adaptation, water-related disaster, dry dam, resilience

## 1. はじめに

近年、地球温暖化によると思われる集中豪雨、干ばつ、台風の強大化などの災害外力の増大が実感されるようになってきた。今後も温暖化による様々な影響がより顕著に現れてくるものと考えられる<sup>1), 2)</sup>。また、社会の自然環境へのニーズも高まっており、増大する災害外力と社会の望む自然環境の保全に今後我々は同時に対処していかなければならない。

図1に災害外力と防災力の関係を示す。過去には、防災技術も未熟でインフラも整備されていなかったため災害外力と防災力の間に大きなギャップがあり、防災は非常に困難であった。しかし、災害外力はほぼ一定であったため、災害のレベルや形態・様相に対してある程度の想定が可能であり、人々は経験知により多少とも減災を図ることができた。その後(特に明治以降)、人々は近代科学技術を用いてインフラ等の整備を営々と行い、懸命に防災力の強化に努めてきた。その結果、近年、防災力は災害外力にある程度拮抗するような段階にまで至ったが、温暖化による災害外力の上昇、一方、インフラの老

朽化や人口の高齢化等による防災力の低下により、不幸にして再び両者の間に大きなギャップが生まれようとしている。これは一見過去に似た状況の再現のように思われるが、災害外力の上昇は人類がこれまでに経験したことのないレベルであり、これまでの経験知が役に立たないだけでなく、時には逆に仇となる。また、近年は社会システムが格段に複雑・高度化しており、一旦被災すると甚大な被害が発生するなど、過去よりも格段に深刻な状況となってくる。

このような状況下では、自然環境と調和できる柔軟なインフラの整備によるハード対策も勿論必要だが、費用・時間・環境面から当然限界がある。著者らは、人命の損失ゼロがレジリエンスの最も重要な要件の一つと考えている。公助による防護で守りきれない命は自助・共助で守るしかない。そういう意味で、地域の自主防災組織が極めて重要な役割を果たすことになるが、いつやって来るか分からない災害に備える自主防災組織の構築や維持は容易ではない。しかるに、香川県丸亀市の川西自主防災会は種々の智慧や工夫を駆使して先駆的な取組を行っているので紹介する。

受付：2016年3月8日，受理：2016年8月7日

\* 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744, e-mail : komatsu794@gmail.com

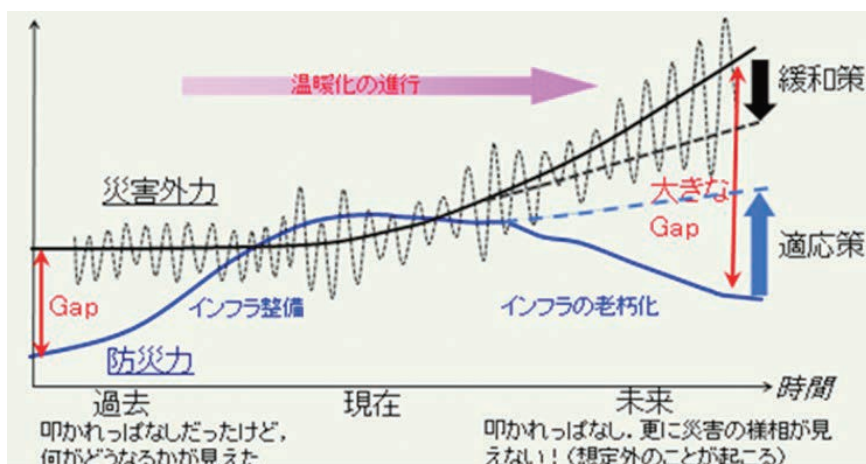


図1 災害外力と防災力の関係。

## 2. 河川堤防の脆弱性の顕在化

洪水災害を例にとって考えてみる。図2に洪水流量～時間曲線(ハイドログラフ)を示す。将来と現在の洪水流量の差が塗りつぶしの部分であるが、この流量の増加分を適応策でうまく処理しなければならない。でないと河川堤防から越水し(図3)、破堤に至って大災害となる。

2012年の九州北部豪雨災害では、福岡県の一級河川である矢部川の堤防がまだ越水もしていない段階で破堤し、大きな被害をもたらした(図4)。また2015年は鬼怒川で越水により破堤し、常総市において広域にわたり大きな浸水被害を引き起こした(図5)。これらの河川災害では、破堤箇所以外にも多くの場所で噴砂や孔・亀裂・陥没など(図6, 図7)が確認されている。これらは破堤等につながりかねない堤防の脆弱さを表している。近年、豪雨により河川内の水位が上がることで、内在していた堤防の弱さが顕在化してきているものと思われる。これは矢部川・鬼怒川に限ったことではなく、全国の河川に共通であると思われる。一旦、破堤すると河川内外でほとんど差がなく浸水し甚大な被害につながるが、全国の河川の全ての堤防の早急な強化は不可能なので、今後は今以上に河川堤防に負荷をかけることは避けなければならない。

また、気候変動により降雨強度や降雨量が增大すれば、堤内地(河川の外)に降る雨も増えてきて内水氾濫の危険性も増大してくる。内水対策はポンプ排水が主であるが、河川水位(外水水位)が高いと河川堤防の破堤の恐れからポンプ排水も制限される。さらに、河川水位が上がると流木が橋桁等に引っかかって集積し閉塞することで、溢水氾濫を起こしやすくなることから、やはり河川水位の上昇は許されない。

したがって、堤防の脆弱性、内水対策・流木対策の面から、災害外力の増大下でも河川水位を上げないような治水対策が要求されることとなる。

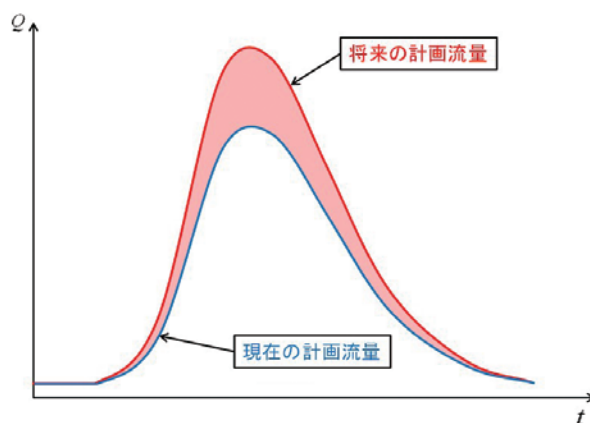


図2 現在および将来のハイドログラフ。



図3 白川の堤防から溢れ住宅地に流れ込む洪水。(2012年九州北部豪雨災害, 熊本県提供)



図4 矢部川の破堤氾濫。(2012年九州北部豪雨災害, 国土交通省提供)



図5 鬼怒川の破堤氾濫。(国土地理院 Web サイト<sup>3)</sup>)



図6 矢部川で見られた堤内地の噴砂。(国土交通省提供)



図7 矢部川の堤防で確認された亀裂。(国土交通省提供)

### 3. ハード面からの対策：穴あきダム

#### 3.1 これからの治水対策

今後の災害外力の増大下で河川水位を上げないで済むような治水対策は容易ではない。洪水対策として一般的なのは、堤防の強化・嵩上げ、引堤、河床掘削、ダム、遊水池等が考えられるが、堤防の強化・嵩上げ、引堤、河床掘削は線での対応となるため河川堤防の延長距離は膨大となり、経費、工事量、時間の面でほぼ不可能に近い。一方、遊水池は使う面積の割に洪水制御効率が低く、用地の確保も容易ではない。したがって、点で対応して洪水制御を効率的に行うダムが最も有利かつ唯一の手段となるが、ダム、特に巨大コンクリートダムに対しては、環境面・経費面から社会の風当たりが極めて強い。

ここでは、環境と調和し、『順応的適応策』<sup>4)</sup>としても対応でき、更に多くの付加的機能を有する『カスケード方式による小規模流水型ダム(穴あきダム)群による治水対策』を提案する。

#### 3.2 小規模流水型ダム群による治水対策

図8に示す流水型ダム(穴あきダム)は、以下のような特長を有する。

- (1) 河床とほぼ同じ高さに設置された穴を通して水が常時流れるため、通常は水が貯まらない。したがって、土砂や魚類も通過する。通常はダムがないのと同じ状態なので環境への負荷が少ない。
- (2) 安全のための治水専用ダムなので住民の合意が得られ易い。
- (3) 洪水自然調節方式のダムの場合、管理の必要がなく人為的なダム操作が入らない。人為的なダム操作が「ダムが洪水の原因」という誤解を下流住民に与える原因となっており、この誤解を回避できる。
- (4) 深層崩壊等によって形成される天然ダムが崩壊した後の段波対策や洪水時にダム湖に流入・堆積した土砂の撤去が、通常は貯水がないため

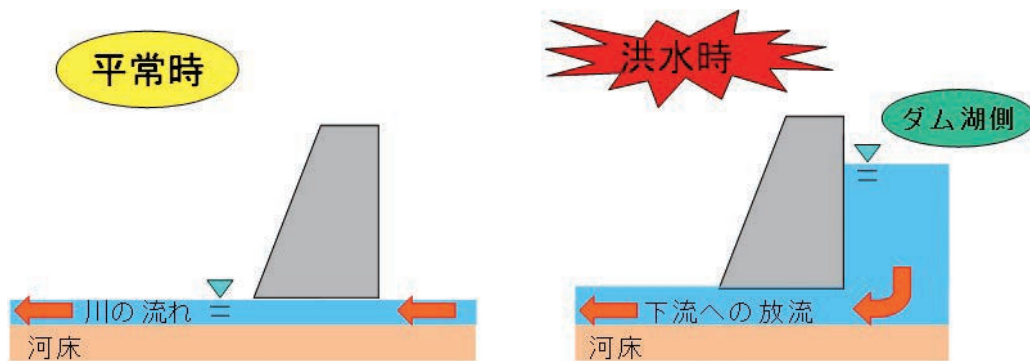


図8 流水型ダムの概略図。



図9 オーストリアの小規模流水型アースフィルダム.

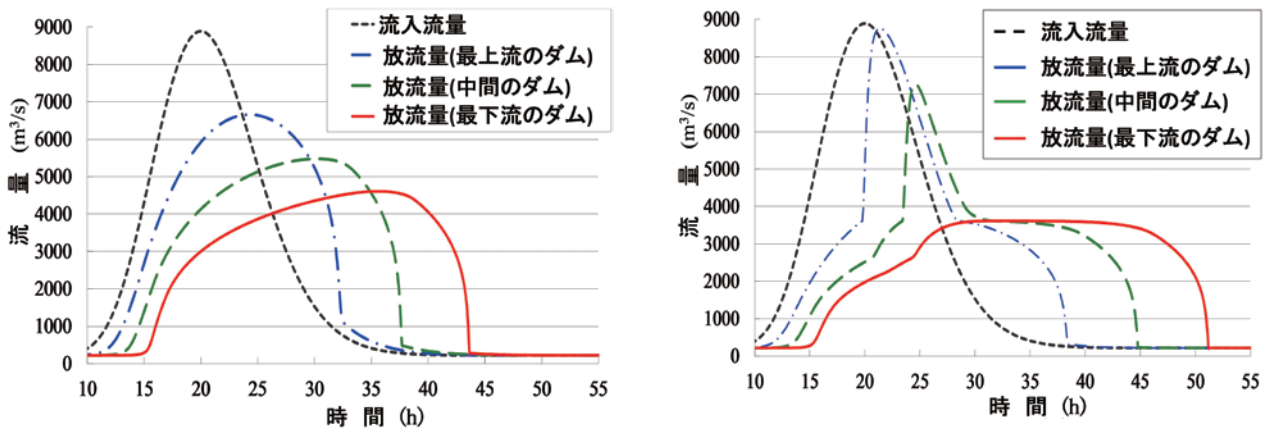


図10 カスケード方式の効果。(左：従来型、右：カスケード方式)  
同じ規模の三つの流水型ダムが直列に配置された場合のハイドログラフの変化。

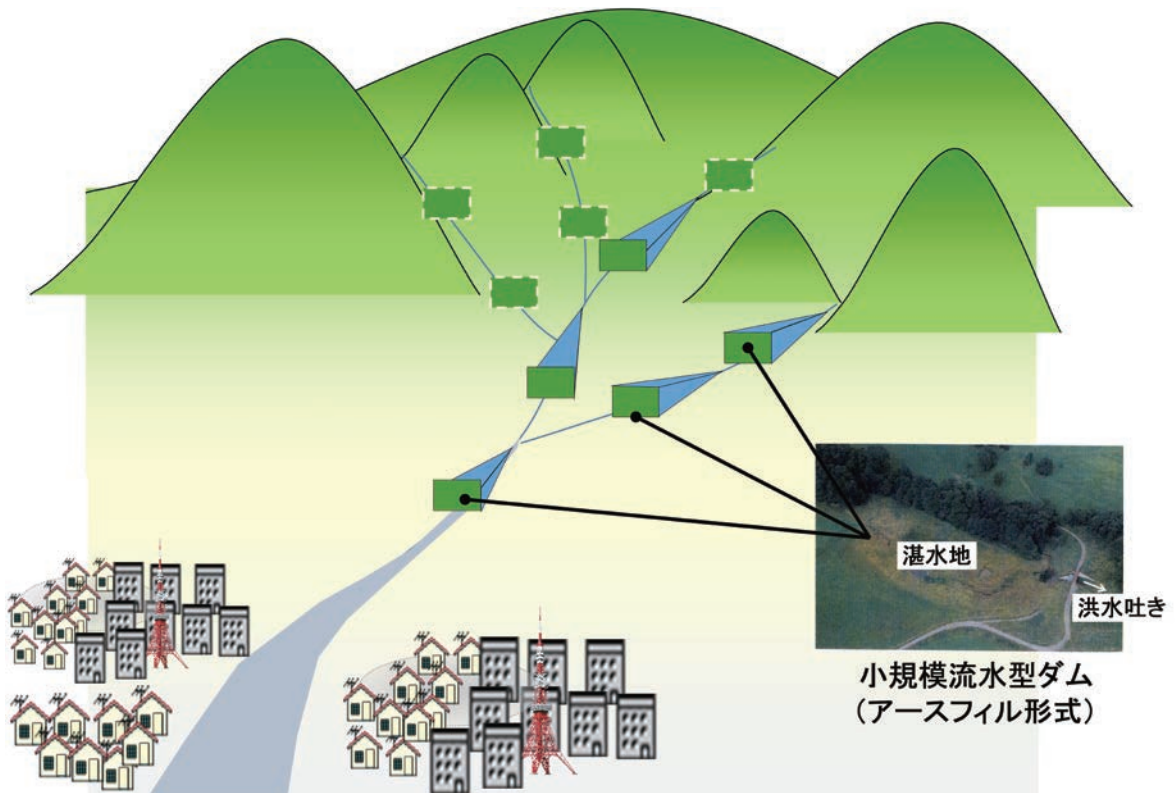


図11 小規模流水型ダム群による順応型治水.

容易であることから、土砂の流入による下流部の河床の上昇対策、下流の貯水型ダムの堆砂対策としても有効である。

- (5) オーストリアで用いられている小規模アースフィルダム方式や押川らによって開発された直列ダム群によるカスケード方式(ダムが満水状態になって非常用洪水吐きから越流することを積極的に許容する方式)<sup>5), 6)</sup>の採用により、自然環境と調和した柔軟で効率的な治水対策が実現される(図9, 図10, 図11)。

#### 4. ソフト面からの対策：自主防災組織

東日本大震災を経験し、改めて災害時における「公助の限界」と「自助、共助の重要性」が再認識された。阪神・淡路大震災後、全国で自主防災組織の結成が進んだ。しかしながら、現代社会では地域社会とのつながり、近隣住民との結びつきが希薄となっており、さらにはメンバーの高齢化や訓練不足等により、自主防災組織は結成されているものの機能不全に陥っている地域が少なくないのが実情である。ここでは、様々な創意工夫により積極的な活動を維持している香川県丸亀市川西地区の自主防災組織の取組を紹介する。

##### 4.1 発足からこれまでの歩み

1995年に設立された丸亀市の「川西コミュニティ」は発足したものの、当初は代わり映えのしない地域コミュニティという印象であった。これに対して、川西地区地域づくり推進協議会会長の岩崎正朔氏が町づくりを牽引する取組として「防災」を挙げたことが始まりである。当時発生した阪神・淡路大震災も契機となり、「防災をしっかりとやれば地域の評価も上がり、故郷に誇りが持てるようになるのでは」との思いから町づくりのキーワードとして防災を提案し、2001年度に「川西地区自主防災会」として発足した。具体的には、土器川の氾濫と道池(貯水量25万t)などのため池の決壊氾濫を警戒対象としている。

2004年度よりコミュニティ組織の防災部として活動し、これまでに内閣総理大臣賞、防災まちづくり大賞などを受賞している。東日本大震災時には自主防災組織が保有している備蓄資機材(炊き出し用品等)を香川県から車で被災地まで運び、炊き出し等の支援活動を計3回実施した。また、2016年4月におきた熊本地震災害でも10日間にわたって炊き出し支援を行い、計8,000食を被災者に提供した。

##### 4.2 川西地区のユニークな活動内容

丸亀市川西地区自主防災組織では、他地域の組織では見られないユニークな活動を実施している。以下に特徴的な活動および工夫について述べる。

###### (1) 避難情報

災害時の避難情報等を自分達で出し、無線機等を使って住民に伝達している。市の危機管理課より地元の方がため池の状況等には詳しいからという理由によるとのことであった。

###### (2) 夜間避難訓練

大雨は深夜に降ることも多いという経験から、2012年度から夜間の避難訓練を実施している(図12)。自治会毎に所定の集合場所に集まって点呼、その後避難所に移動する。実際にやってみると夜間ゆえの問題が生じた。例えば、真っ暗なため用水路に落ちるなど避難が難しいことを参加住民が認識し、次回から複数人でロープを持って移動する、反射たすきを使用するなど、安全に避難できるように住民自身が工夫する様子が見られた(図12)。また、当初は夏の夜の23時に実施していたが、子供を参加させたいとの小学校からの要請で2014年度は21時に実施し、子供を含む約700名が参加した。2015年度には、災害はいつ起こるか分からないことから真冬(2016年1月30日20時)に実施し、570名が参加した。避難所で点呼を取って終了となるが、寒い中参加した住民に給湯を振る舞うなど(図13)、モチベーションを高める工夫をしている。

###### (3) 小・中・高校生への防災教育

子供達への防災教育を重視しており、防災カリキュラムによる各種訓練を実施している。その中で



図12 丸亀市川西地区における夜間避難訓練の様子。  
(左：避難所の受付、右：懐中電灯や反射たすきをつけて避難所に移動)。(平成28年1月30日撮影)



図13 夜間避難訓練における婦人部による給湯の提供。  
(平成28年1月30日撮影)



図14 丸亀市川西地区にある大型発電機格納庫。

は、避難所の設営やトリアージでタイムを競わせるなど、訓練内容にゲーム的要素を取り入れて興味を持たせる等の工夫をしている。また、小学生を対象とした合宿訓練ではコミュニティセンターに宿泊し、電気を使わずにローソクを使用して勉強や訓練をさせるなど災害時を想定して行っている。高校生の運動クラブは、発災時には即、既に担当が決まっている「防災クラブ」となる。また、日頃から訓練を行っている。

#### (4) 地元企業との連携

昼間何かあったときに地域が頼れるのは地元企業の従業員であることから、地元企業と災害時の「相互支援協定」を結び、企業ビルや敷地を緊急時の避難所(合鍵を預かる。さらに、緊急時には窓ガラスを割って入っても良いという了解も得ている。)や備蓄倉庫として利用、災害時におけるガソリン等の優先的な給油等、また、企業からの「かけつけ支援」など、地元企業と積極的に連携した体制づくりをしている。

#### (5) 防災用資機材の保有

災害前の予防対策として、被災者の衣食住、生活面の物資や避難生活のための資機材の確保に努めている。自主防災組織としては他に例を見ない保有量である。以下にいくつか例を示す。

- 炊き出し用品：かまど×10個、食器類×2,800個、割り箸×1,000個、コップ×2,000個、スプーン×800個、燃料用まき×200kg
- 備蓄食品：缶入りカンパン×850個、飲料水2ℓサイズ×5,400本、非常用食品(カレー、山菜おこわ等)×1,100食、缶詰×1,500個、玄米×2,400kg
- 生活用品：毛布×330枚、簡易トイレ×100台等
- 給電・照明：大型発電機を含む発電機×19台、投光器×13台、照明機器×18台、電工ドラム×21台、ランタン×20個、ENGポンプ×2台等(図14、図15参照)
- 情報・通信機器：業務用無線機の基地局×1台、無線端末×33台、携帯ラジオ×8台
- 救出・救護用資機材：AED一式、チェーンソウ×



図15 丸亀市川西地区で保有している投光器・照明機器。



図16 丸亀市川西地区で保有している救出・救護用品。

10台、ジャッキ×23個、ヘルメット×250個、安全靴×45足、車いす×10台等(図16参照)

これら防災用資機材はコミュニティセンター敷地内の格納庫の他、相互支援協定を結んでいる地元企業にも敷地を提供してもらい、分散して保管されている。

### 4.3 活動を持続・維持させるための智慧

(1)「防災」の為の活動だけではもたないので、まちづくりや祭り・行事などと絡める。イベントの後に消火器訓練なども実施。

(2)モチベーションを用意する

例えば、防災まちづくり大賞(消防庁)等に応募す

る。たとえ賞がもらえなくても資料を作ることで町の脆弱性が見えて、次につながる。

### (3) 参加者をタダでは帰さない

炊き出しで食べ物を用意する。例えば、土器川の堤防での健康ウォークでは「いも炊き大会」を開催し、同時にゲーム的な内容を組み込んだ訓練を実施する。また、水・食糧などの備蓄品の古くなったものを行事の後に参加者に放出する。

### (4) 人脈を作る

常日頃からの触れ合い(病院への見舞いなど)に努める。人と人とのつながりを大事にする。

### (5) ユニフォームを作る

統一したユニフォームを着ることで一体感が出てやる気につながる。

### (6) 参加を促す

防災訓練などでは、自治会の会長さんに予め希望人数を伝え、参加人数の多い自治会を表彰する。

### (7) 人材の育成

防災だけでなく他のこと、例えば“まちづくり”のことなど、色々な話ができる人を育て、企業を担当させる。

(8) 使命感を求めると続かないので、楽しんでやってもらうことが大事。

## 5. まとめ

本稿では、気候変動下の水・土砂災害に対する適応策として、ハード・ソフト両面の対策を紹介した。レジリエンスの向上には、「順応的適応策」として対応できるハード対策の開発・普及、自助・共助の必要性の啓発とそれを支えるソフト対策の充実が不可欠である。

まず、ハード面からの対策として、「順応的適応策」として対応できる極めて有望な治水対策である流水型ダムを紹介した。以下にその内容を示す。

- (1) 近年の洪水氾濫災害から河川堤防の脆弱性が明らかとなってきているが、早急な堤防の強化が極めて困難なことから、今後、河川堤防へはこれ以上の負担はかけられない。
- (2) 内水氾濫の危険性も今後増大してくるが、ポンプ排水を内水対策とした場合、河川水位が上昇するとポンプは使えなくなる。また、流木の橋梁部での集積による氾濫への対策としても河川水位の上昇は許されない。
- (3) 河川水位の上昇を有効に抑えるのは、ダムが最も効率的かつ現実的であるが、自然環境との調和、自然へのインパクトの軽減等を考慮すると流水型ダム(穴あきダム)が最も適している。
- (4) オーストリア方式の小規模アースフィル型流水型ダム群で、かつ新しく開発されたカスケード方式を用いることで、環境に優しくかつ効率的な洪水制御が可能となる。

- (5) 既存の貯水型ダムと連動させて操作することも可能で、柔軟で調整可能な洪水制御技術となっている。
- (6) ダム建設は無駄な公共事業の象徴のように言われ社会から疎まれてきたが、気候変動下では極めて有望な治水対策として見直されなくてはならない。早急な世論の認識の深まりと改善を期待したい。

次に、ソフト面からの対策として、自助・共助を支える自主防災組織の構築・維持のための智慧や工夫をまとめて示す。

- (1) 防災は本質的にネガティブなもので、完全に防護できても現状維持である。減災などはマイナススペースとなる。
- (2) 環境教育などと比較すると、自主防災組織等での活動は楽しさを目的とするものではないので、持続・維持していくことが極めて難しい。したがって、他のことと結びつけることが持続・維持のための重要なカギとなる。
- (3) 防災訓練をまちづくりや祭り・行事などと絡めたり、炊き出しで食べ物を用意したりすることで参加者(住民)をタダでは帰さない工夫をする。
- (4) 防災まちづくり大賞などに応募する等、活動者(運営側)のモチベーションを用意する。ただし、使命感を求めてはいけない。楽しんでやってもらうことが大事である。

今回の調査から、自主防災組織を構築し維持するという経験をしてみないと分からない珠玉のような“智慧”がいくつも出てきている。研究者や行政は、このような智慧を人文・社会的に分析して普遍性を見出し、広く他の地域の住民組織にも適用し育てていくという後押しが必要である。

「もし、将来南海トラフ地震が起こって、同じ四国の高知県や徳島県が被災したら、備蓄品を全部持って香川県の丸亀から救援に駆け付ける。地域の皆さんの了解は得ている」という会長の言葉がとても印象的であった。備えが十分あると、他者のことにまで思いやれる心のゆとりが生まれるのであろうか。

## 引用文献

- 1) The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, 1535, Cambridge University Press.
- 2) 日本学術会議(2008)国土・社会と自然災害分科会：提言 地球環境の変化に伴う水災害への適応。
- 3) 国土地理院(2015)平成27年9月 関東・東北豪雨の情報。〈<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27.taihuu18gou.html>〉(2016年9月14日最終確認)
- 4) 三村信男(2013)世界的に始まった気候変化への適応策。グローバルネット, 2月号。

5) 押川英夫・今村友彦・小松利光(2011) 治水専用穴あきダムの河道内遊水池としての洪水制御効果に関する研究. 土木学会論文集 B1(水工学), 67(4), I\_667-I\_672.

6) 中島泰裕・押川英夫・小松利光(2009) 治水専用穴あきダムの洪水調節能力改善手法に関する研究. 河川技術論文集, 15, 417-422.



小松 利光/Toshimitsu KOMATSU

1948年生まれ。九州大学大学院工学研究科博士課程修了，九州大学工学部助手・助教授を経て1991年九州大学教授。2012年定年退職し，同大学特命教授・名誉教授。土木学会理事・水工学委員会委員長，日本学術振興会学術システム研究センター専門研究員等を経て，現在，九州大学名誉教授，環境省環境研究総合推進費S-8-2の研究代表者。日本学術会議会員，世界工学組織連盟(WFEO)副会長。専攻は環境水理学・防災工学。著書『流木と災害』（監修，技報堂），『新編水理学』（監修，理工図書）等。

---



橋本 彰博/Akihiro HASHIMOTO

1974年福岡県生まれ。2003年3月，九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了，博士(工学)。専門は水工学，環境水理学。東京電機大学理工学部助手，九州大学大学院工学研究院学術研究員を経て，現在，福岡大学工学部准教授。地球温暖化に伴う気候変動の影響による水災害の評価およびその適応策の開発に取り組んでいる。

---