

# 今後の河川防災・減災について

The River Disaster Prevention and Disaster Reduction Hereafter



ふく おかしょう じ

**福岡捷二\***

Shoji Fukuoka

## 1. まえがき

現行の社会資本整備重点計画では、国土の防災、減災は重要な政策課題となっている。我が国の都市は、海外の大都市に比べて水害や土砂災害などの自然災害に対する安全度が著しく低い。近年の豪雨の多発は、各地に甚大な水害、土砂災害を引き起こしている。今後、気候変動による降雨量の増大が予想されていることから、洪水外力の増大に対し、河川・流域が抱える災害リスクを踏まえた総合的、計画的な治水適応策が求められている。しかし、我が国の現在の河川施設の計画外力の見直しを行わなければならないほど明確になってはいない。今後の降雨量データ等の蓄積による気候変動傾向の把握と豪雨災害発生状況を見ながら科学的に見て影響が明確になった時点で、治水施設の計画外力等の見直しを検討することが適切であると考えられる。

我が国の河川の多くは、治水計画上整備途上の状態にあり、計画規模内の洪水外力であっても氾濫により大きな災害となる。この傾向は、特に都市において強い。このようなことから、第一に治水計画内の洪水外力に対して、治水施設で安全を確保する防災を、次に、治水計画を超える外力に対して人命を守り、氾濫による被害を小さくする減災を今後の治水の方向とすることになる。

国土交通省の社会資本整備審議会河川分科会「気候変動に適応した治水適応策検討小委員会」は、平成27年2月27日に水災害分野における気候変動のあり方について中間とりまとめ（委員長 中央大学研究開発機構教授 福岡捷二）を公表した<sup>1)</sup>。中間とりまとめでは、気候変動に適応した治水適応策の検討を契機に広く治水のあり方について議論し、これまでの治水政策の重要なパラダイムシフトが提示されている。

治水適応策の細部については中間とりまとめを参照していただくことにして、本文では、異なる規模の水害に対する新しい治水政策としての防災、減災の考え方を中心に述べる。

## 2. 平成16年7月、23年7月新潟・福島豪雨水害からの教訓とその活かし方

平成16年7月、23年7月の新潟・福島豪雨による信濃川下流域での2つの甚大な災害発生とその後の流域の対応は、気候変動等が原因となって想定される大規模な豪雨災害に対する防災、減災の重要な考え方を示すものであり、またこれからの治水政策に重要な示唆を与えるものである。平成23年の災害後直ちに、国土交通省の「平成23年7月新潟・福島豪雨災害の検証を踏まえた治水方策に関する懇談会（委員長 福岡捷二中央大学研究開発機構教授）」が設置され、2つの災害の比較、分析を行った。その結果は、今回の私への執筆依頼の内容に密接に関係することから、最初に2つの災害から得られた教訓を示し、これに基づいて、議論を展開する。懇談会の主要な結論は以下のとおりである<sup>2)</sup>。

- (1) 平成16年7月に発生した水害から、洪水の流下形態を知ることが河川管理の基本であるとの認識の下に、河岸沿いに縦断的に密に水位計が設置された。これにより、信濃川下流域の洪水流の流下機構の観測が可能となり、平成23年洪水では、大洪水の水理挙動の解析、それを用いた対策や河道の改修に貴重な基本情報を得ることが出来た。
- (2) 平成16年7月災害を受け、信濃川下流域で行われたハードな治水対策は、平成23年7月洪水に対し大きな治水効果を上げた。しかし、支川五十嵐川や派川中ノ口川の下流区間では、現状の河川の治水安全

\* 中央大学研究開発機構教授

Professor, Research and Development Initiative, Chuo University

度を大きく上回り、極めて危険な状況にあった。これらの区間では、降雨の規模やパターンが少しでも変わってれば破堤が生じていた可能性が高い。

- (3) 平成23年洪水では本川水位の上昇によって、派川中之口川で破堤の危険性が高まっていた。そのような状況の中で、本川では内水ポンプの排水が継続された。流域としてのポンプ排水運転のあり方が今後の重要な課題となった。沿川の水防管理者からは、平成23年の洪水で密に観測された水位—時間データを用いた解析（水面形の時間変化）によって、ポンプの運転を含む洪水の実態を水理学的に解明し、流域一体として望ましいポンプ排水のあり方を決めるべきであるとの強い意見が出された。
- (4) 平成16年水害後に、信濃川下流域の自治体において水害対応マニュアルの作成、防災情報伝達手段の多様化、防災訓練の実施等、様々なソフト対策が講じられた。このことによって、平成23年洪水では、全体として円滑な避難勧告がなされた。それでもなお、破堤の危険性の高い出水状況の下で、河川管理者による情報提供、タイミング等のあり方について、市町村長の水害体験等を十分踏まえ、住民避難を判断する情報の有効性をさらに高める必要があることが認識された。
- (5) 計画高水位または氾濫危険水位を超え、且つ破堤の危険性が高かった信濃川下流域の平成23年の出水から、流域内の水害リスクを考慮した対応と、上・中・下流で水害リスクを分担する運命共同体としての対応が必要であることが再認識された。
- (6) 信濃川下流域は、流域が一体となって水害リスク情報を共有し、上・中・下流で洪水流出の抑制を分担し、連携しながら流域全体の治水安全度を高めていくモデルケースになるとの共通の認識を得た。
- (7) 災害後直ちに、国土交通省北陸地方整備局、新潟県、流域各市町村は水害に強い地域、流域づくりに向けて協議会を作り、精力的に検討を進めている。協議会では、洪水の流下形態等観測に基づく科学的に確かな洪水水理現象の把握、安全性確保に向けた河川整備、災害時の避難情報等ソフト施策、ポンプ排水を含む低平地の運命共同体としての治水のあり方、堤防破壊による地域の水害リスクの評価とその活用策などの検討を行っている。

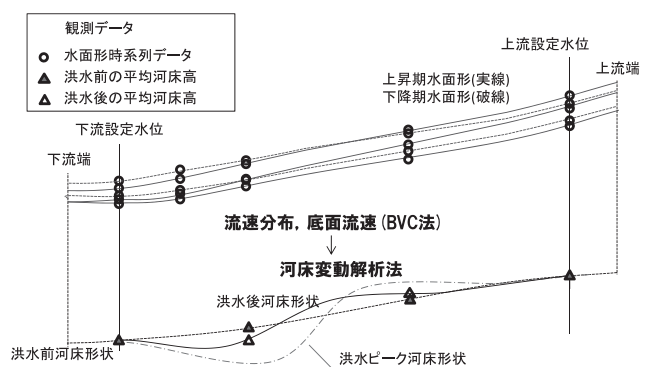
### 3. まず必要なことは、現況河川の実力を把握し防災対策を確実に進める。

計画高水位以下で、洪水が河道を安全に流れることが出来るかを水理的に確認することが最も重要である。計画高水位を超える超過洪水への対応策の検討も重要では

あるが、整備レベルが低いために頻繁に現河道の流下能力を超える「超過洪水」被害への対策は、優先的に行われなければならない。計画規模を超える超過洪水に対する技術及び対策は、このような技術検討の延長上に位置づけられる。

これを実行するためには、河川管理者は、現在の河道や治水施設の持つ実力を技術的に正しく評価し、そのうえで、河川全体から見て効率的、効果的に河川の実力を高めるには、どのような技術対応が必要かを明らかにし実行しなければならない。このためには、当該河川の洪水流や河床変動等の河道特性を理解し、計画的な施設整備を行うことになる。この際に、施設の能力を上回る洪水外力に対しても施設の運用、操作、手順等を工夫し、また将来的に施設の改造をできるだけ手戻りなく行えるような構造形式にする等、順応的に対応することも必要である。

近年、洪水流の観測技術、解析技術が著しく進展してきた。特に、全国の直轄河川で縦断的に密な間隔で測定される水位ハイドログラフ、すなわち洪水時の水面形の時間変化の観測値を境界条件に用い、洪水流と河床変動解析を同時に行うことによって、河道における洪水流の流下状況、河川の実力を検討できるようになった<sup>3)</sup>。〈図—1〉に、水面形時系列データに基づく洪水流と河床変動解析のイメージを示す。水面形観測データと平面二次元または準三次元解析法の適用によって、河道の流量ハイドログラフ、流速分布、河床変動等の縦横断的な水理現象を明らかにすることが可能になった<sup>3)</sup>。これらの検討結果を用いることによって、現況河道の治水の実力を評価、判断し、得られた水面形の時間変化から、洪水時に起こっている各種水理現象を的確に読み取ることが出来る。これらのことから洪水水理情報の見える化および確かな技術判断が可能になった<sup>4)5)</sup>。この調査、解析の延長上には、種々の規模の洪水流量に対して河道をどのように改修するのが望ましいのかを技術的に判断するための情報、すなわち、過去に起こった大きな洪水



〈図—1〉 水面形時系列データに基づく洪水流、河床変動解析のイメージ

の観測、解析から同定した水理パラメータを用い洪水流、河床変動解析を行うことによって、信頼度を持った計画河道の検討が可能になる。

河川は、山地から海岸まで大きい地形、地質変化を呈し、河道は、異なるスケールの地形から構成されている。現在の河川技術は、局所的な水理現象を説明することが中心で、長い河道区間で生じている混在するスケールの異なる水理現象を一体的、統一的に説明する解析技術が十分ではない。今後は、異なる河道スケールで規定される水理現象を時・空間的に統合して扱うことが可能な解析技術、計画技術、設計技術が求められる。内田、福岡<sup>6)</sup>による準三次元解析法は、このような考えに立脚した解析技術であり河道設計・管理の高度化に活用されている。河川の実力を評価する実務への高い応用技術としては、前述の観測水面形を境界条件とする福岡の洪水流、河床変動解析法<sup>4)5)</sup>がある。

## 4. 減災対策の基本的な考え方

### 4. 1. 超過洪水に対して、確かな適応策を実行するために必要な観測

超過洪水による水害に対応するためには、超過洪水時の洪水流・土砂移動や、堤防等治水施設の挙動を観測し、万一に備える準備が必要である。超過洪水が発生したとき、決壊に至るまでの時間を引き延ばすことが可能な堤防構造を検討するためのデータを得ておかなければならない。このためには以下の項目について今後検討されるべきである。

- (1) 今日の堤防築造の基本的考え方は、河川構造令等に示されているように、計画高水位（HWL）以下の流水の通常的作用に対し安全な構造となるように作られている。しかし、堤防は土で作られていることから、超過洪水に対し堤防の信頼性に問題は残ると考えるべきである。
- (2) HWLと天端の間の余裕高を洪水が流れるときの堤防の挙動を知る。
- (3) 堤防から洪水が溢れ出たとき堤防はどのように挙動するのか、この時の流量を測ることができるのか、堤防上を流れる洪水水面形に破堤の前兆現象が現れるのか、堤防の決壊プロセスはどのようなものか。

これらを明らかにするためには、今後、現地河川、実験水路で以下の水理現象が検討される。

- ・堤防からの越流がなく余裕高部分を流れる洪水流の水面形の時間変化を観測する。これより、超過洪水流量を算定する。
- ・越流があるが破堤がない場合について、水路実験より水路内の水面形と堤防天端上の水面形を測

る。越流地点の上流と下流の水面形からそれぞれの流量 $Q_1(t)$ 、 $Q_2(t)$ を求める。これらの諸量と越流時の観測水面形の時間変化から越流量を求める解析法を確立する。

- (4) 上記の観測データをもとに、越流により破堤が生じた場合について、いつ、どこで、どのような過程で破堤に至ったかを推定する解析法を確立する。

### 4. 2. 堤防の破壊確率算定の必要性

わが国の多くの河川は計画河道が完成していない整備途上にある河川であり、そのような河川では計画高水位を超える洪水流が頻繁に発生している。また、計画河道となっている河川であっても、計画高水位を超える洪水流は起こり得る。これらはいずれも、超過洪水と呼ばれている。超過洪水対策を考える場合でも、4. で述べたように計画高水位までの水位に対して河川が確かな安全性と実力を持つ河道となるように完成河道への改修がすすめられなければならない。河川の洪水は、計画規模内の大きさの洪水と超過洪水の間では、その規模が突然ジャンプするのではなく、いろいろな大きさの洪水が発生する。計画高水位に達しなくても、堤防は土で出来ているため堤防破壊の危険性は小さいながらも有り得る。自然現象には、100%の安全はなく危険確率は常に存在することを意識すべきである。洪水水位が上がり計画高水位を超え、堤防の余裕高部分を洪水が流れるとき、余裕高部分がどの程度の破壊危険性があるのかを見積もり、流域被害の最小化を目指した管理につなげることが超過洪水対策の最初の重要なポイントである。

河川の計画高水位内の計画である施設計画と危機管理対策としての超過洪水対策は別個のものと考えず、連続した洪水・氾濫現象と捉え技術的な検討が必要である。その間の余裕高部分の洪水水理現象をしっかりと理解し、土堤防の余裕高部分の構造的な信頼性について十分な議論が求められる。

超過洪水時には、洪水は堤防から溢れたり、計画高水位を超えて余裕高部分も流れることがあるが、土で出来ており堤防は水位の上昇とともに破壊の危険率は高まる。このことは、計画高水位から堤防天端までの余裕高部分は、治水計画に取り入れるだけの信頼性は有していても、危機管理としての役割を持つものである。堤防余裕高部分を使って破堤せずに洪水が流れれば、結果的には超過洪水に対して危機管理的役割を果たしていることになる。洪水が氾濫したときに、地域の水害リスクを下げるために実効性のあるハードとソフト対策を進めるためにも、堤防余裕高部分の破壊危険確率を求め、これに基づく流域の水害リスクが整理できれば、超過洪水に対する適応策が検討できることになる。

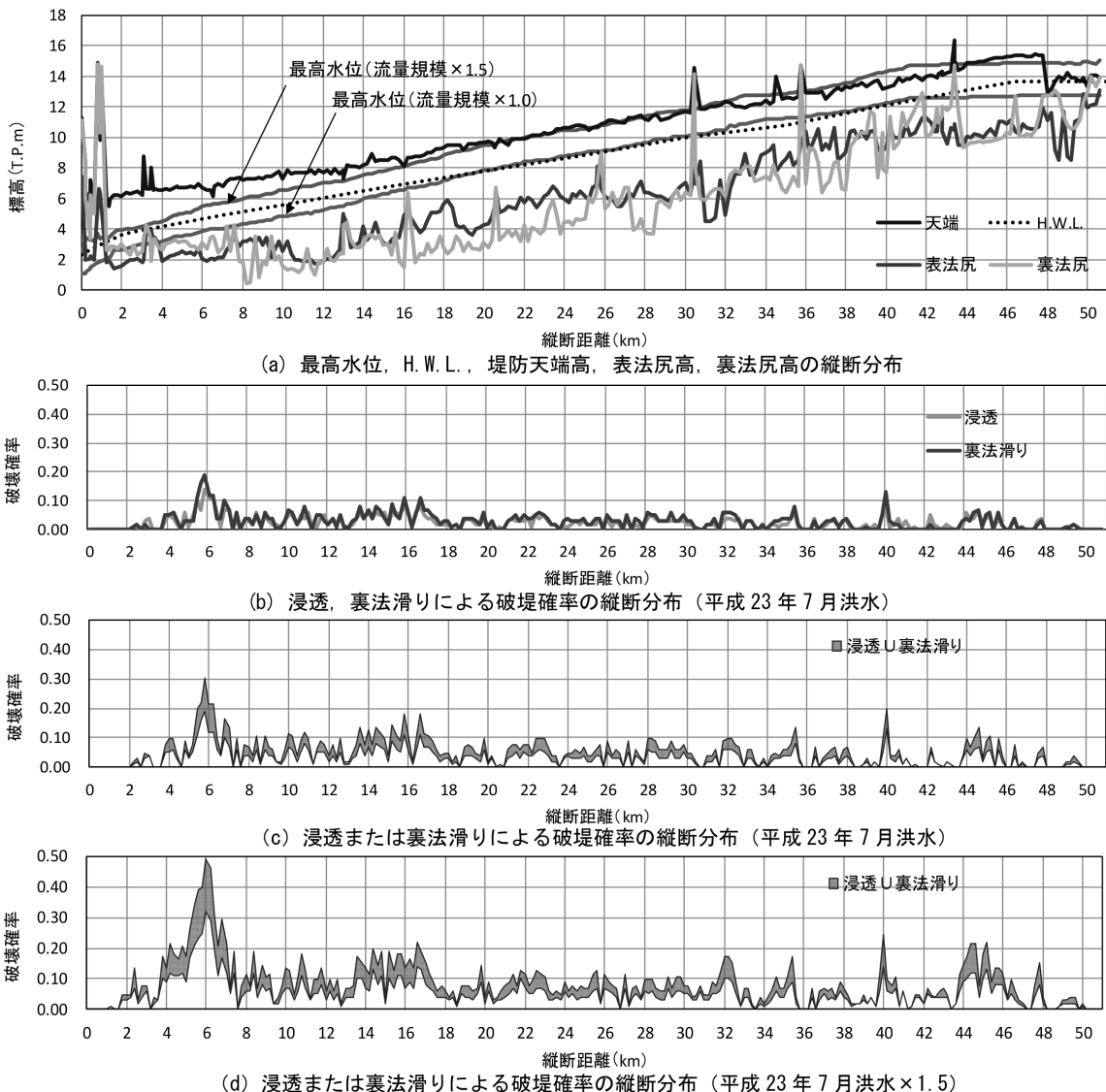
このため堤防が、いつ、どこで、どのような機構で破

堤するかを推定する技術が望まれるが、堤防の歴史的形成過程を考えれば、力学的考察からこれを求めることは現状では困難である。近年、国土交通省による全国河川の堤防上質ボーリング調査データが国土技術政策総合研究所河川研究室ホームページに集められている<sup>6)</sup>。長大な歴史的線状構造物である土堤防については、堤体土質特性の不確実性を考慮する信頼性解析が必要である。堤防の浸透、滑りの力学的解析と信頼性解析を組み合わせ、破壊確率を求める。〈図—2〉は、平成23年7月計画高水位を超過した信濃川下流河川の洪水に適用し、実績洪水とその洪水の流量を1.5倍した超過洪水に対する左岸側堤防の浸透または裏のり滑りの破壊確率の縦断分布の解析例を示す<sup>7)</sup>。破壊確率の絶対値の意味については今後さらに検討するが、ここでは、堤防断面形や堤防土質が関係する破壊確率の縦断分布の相対的大きさが意味を持つ。詳細については、文献<sup>7)</sup>を参照していただきたい。

### 4. 3. 流域の水害リスクを考慮した減災まちづくり

整備途上河川にあつては、その流下能力を上回る洪水は頻繁に発生することから、洪水氾濫のハザードマップは減災のために重要な情報である。これまで、ハザードマップは、主に、計画規模の外力による氾濫水の挙動を示し、人々が住んでいる場所の危険性、災害時の避難方法や避難場所を提供する目的で公表されてきた。大洪水に対するハザードマップは重要であるが、発生頻度の高い洪水の外水氾濫および内水氾濫に供するハザードマップも地域住民の水害に対する心構え上必要であり、また防災、都市・地域づくり関係者にとっては、安全な地域づくりを進めるために必要な情報である。

対象流域の氾濫によって蒙るハザード項目を適切に選定することによって、破壊確率を用いて氾濫リスク解析の検討が可能になる。このようにして得られるリスク解析結果を用いて、地域住民は、地域の氾濫リスク情報を



〈図—2〉 信濃川下流の水位・堤防高と破壊確率の縦断分布 (左岸堤防)

正しく得ることが可能になる。

水災害リスクを評価には、最初に、4.2に示した延長の長い土堤防の破壊確率分布を求め、計画高水位を超え堤防の余裕高部分を流れる超過洪水に対する堤防の浸透と滑り破壊確率を堤防土質の信頼性解析から求める<sup>7)</sup>。次に、異なる規模の超過洪水に対する堤防の破壊リスクの期待値を計算する。さらに、超過洪水に対するブロックごとの人口、資産、住まい方等を考慮した水害リスクを見積もる。

河川沿いには市街地が多く、平常時は優れた住環境を有している。浸水ポテンシャルの高い地域は、破堤氾濫等異常時の水害リスク解析結果や、浸水被害の状況に応じ、広域から小域、ソフトからハードまで、多重防御から小規模な対応まで、治水計画、水防計画、まちづくり計画、建築計画、情報・避難計画等を用いて多様な検討がなされることになる。

地域全体や各ブロックについての水害リスク解析結果に基づいて、流域、地域の代表者や行政関係者らから構成される協議会等が、検討の場として考えられその中に河川管理者も加わることになろう。これには、流域、地域の特性、上下流バランス、内水氾濫と外水氾濫のバランス、氾濫流の制御、河川と下水道の整備、雨水貯留施設、洪水貯留施設等ハードの整備とそれらと有機的に機能するソフト施策を用いた流域の被害最小化を狙いとして減災対策を検討する。今後代表的な「流域」、「まち」、「地域」等を選んで、超過洪水レベルごとの災害リスクの軽減策が検討されることになる。水害リスクや対応策が明らかになると、水害保険や税制等、新しいリスクファイナンス施策も検討の対象になるであろう。

以上の災害リスク、リスクファイナンス等の検討に際しては、気候変動の不確実性、予測の不確実性を考慮し、また気候変動現象の理解の進展を踏まえ、適宜、計画外力の見直しが必要になる。また、超過外力としては、現実に想定される最大の外力を設定し、最大外力を含む異なる外力規模を対象とした災害リスクの検討が行われる。この際に、気候変動や社会、経済の変動によって、災害リスクがどのように変化するか、また、適応策の進捗や流域の社会条件の変化などによる時間軸上でのリスクの変化についても考慮することになる。国、地方公共団体、企業、住民は、巨大な水災害が流域、地域の命と財産、社会経済に与える壊滅的な影響を共有し、連携して被害の軽減に努めることが大切である。

2013年のタイで発生した大洪水による広域で長期にわたる氾濫は、多くの企業に長期間にわたって操業の停止がもたらされ、その結果サプライチェーンが混乱し、世界の経済に大きな損失、悪影響を及ぼした。このような大災害の影響を軽減するには、個々の企業が災害に備え事業継続計画を作ること、さらには国、地方自治体は、

企業を含む一体化した形で大災害に備える事業継続計画を作り、その実効性を高めていくことが重要である。

#### 4. 4. 事前防災を考えたコンパクトシティづくり

コンパクトシティを実現する制度である立地適正化計画の目的は「高齢者や子育て世代にとって安心、健康な生活環境の実現」、「財政・経済面での持続可能な都市経営の確保」、「環境・エネルギー負荷の低減」、「自然災害の事前予防の推進」の4つの理由を挙げている<sup>7)</sup>。「自然災害の事前予防の推進」が目的に入ったのは今後の都市の治水を進めるうえで重要な方向を示すものである。

コンパクトシティの多くが地方の都市河川流域で実施されることから、コンパクトシティは、水災害に対して安全な街づくりでなければならない。コンパクトシティの居住誘導地域では、都市・地域づくり関係者と河川管理者は連携し、水災害防止への積極的なメニューが検討されるべきで、集約先について水災害、土砂災害の事前予防の推進が期待される。また、集約元や居住誘導地域の外の地域は、必要に応じて遊水地や雨水浸透施設など水災害の事前予防に活用する等、居住誘導地域の安全性の向上が望まれる。

居住誘導地域内を流れる都市河川は、治水安全度の低いものが多い。土地区画整備事業や市街地再開発事業等の市街地整備手法を用いて、都市河川の河幅を少しでも広げることが出来れば安全度を上げることが可能となることから新しい既成市街地整備手法が考えられるべきである。

### 5. ハード技術とソフト技術の連携による社会的INOVATIVEな技術の創出に向けて

土砂災害は、豪雨から災害発生までのリードタイムが極端に短い急激な現象であり、一度起こると地域は壊滅状態になることから、砂防堰堤等のハード施設と土砂災害危険箇所、区域の周知や、警戒避難を行う基準の設定、情報伝達体制の整備、避難方法や避難場所の周知などのソフト施策を組み合わせ、災害の防止や減災を図っており、ハード技術とソフト技術の組み合わせが適切に機能したとき効果を上げる種類の災害である。

一方、洪水は大洪水といえども土砂災害に比してゆっくり時間をかけて起こる現象のせいか人々の危機感は相対的に低く、ソフト対策で対応してもよいとする傾向が見られる。もちろん、ソフト対策は有効であるが、本来、治水施設で守るべきところは、時間がかかっても計画に基づいて着実に治水施設を整備していくことが大切である。

大規模洪水災害に対しては、当然、新しい多様な対策が必要とされる。これには、ハード技術をもっと有効に

生かすソフト技術を考えるべきである。結果として、必要なハード技術の開発には、これを支える制度や法律等のソフト施策が求められる。このことは、また、効率的に必要なハード施設の検討につながり、ソフト技術とハードの技術が適切に影響し合って超過洪水に対する防災、減災まちづくり、都市河川整備につながっていく。事業間の連携によっても、新しい有効な災害対策が生み出される。大規模災害をトータルでみたときにソフト対策は費用と時間がかからないとは必ずしも言えないことに留意する必要がある。

都市、河川における多くの制度や法律を上手に運用して、古くから使われている技術をINOVATIVEで有効な技術に代えたり、ソフトとハード、事業間連携から新しい制度を導き出すことによって、社会的にINOVATIVEな技術につながることを期待する。

## 6. あとがき

都市の中小河川は、一般に大河川の整備に比較して遅れており、治水安全度が低い。その最大の理由は、河川整備に比して地域の開発スピードが速く、市街地が広がってしまったためである。そのため、開発前当時の狭い川幅に沿って人家等が密集連担し、洪水流量増大に対応する河川整備が進まなかった。本文で述べたように超過洪水による氾濫対策を適切に行うには、河川や下水道、水防といった水災害に直接係る事業だけでなく、都市、地域、建築等、関連する多くの法律、制度について理解が必要であり、また都市・地域関係者との情報の共有、協働が必要である。

しかし、協働のための重要な制度である市街地再開発事業や、土地区画整理事業等は都市化が進行していた時代に比して、安定・成熟した都市型社会になってその有効性に問題が生じてきた。また、特定都市河川浸水被害対策法も流域開発が盛んな地域において河川、都市、下水道が連携して行う浸水被害対策のために制定されたものであるが、指定前に急速に市街地化が進んだことにより既成市街地がひろがった地域では、浸水被害対策としてのこの法律の有効性に課題が生じた。河川と都市は一体となって、これら法律を都市の水災害に対し有効に機能させ、都市河川の安全性確保に活用できるように制度構成の見直しを考えていかなければならない。このためには、都市河川の治水とまちづくりを一体的に議論できる組織が望まれる。

先に減災方策のひとつとして水害保険等、リスクファイナンスの必要性を述べた。水害保険の我が国への適用性について、これまで国の河川行政を中心に幾度となく検討されてきたが、その時々々の行政判断で実現を見ることはなかった。今日、激甚な水災害の多発や気候変動に

よる洪水外力の強大化が予想され、また、人口減少、少子高齢化、財政状況の悪化、地方の衰退化等、当時の経済、社会状況に比して大きく異なっており、今一度真剣に検討すべき時であると思う。住民は水害を受けたときに、自らの住宅等の復旧費用等を水害保険によって用意することも考えなければならなくなる時代がやがて来ると思われる。イギリス、フランス、ドイツ、スイス、アメリカなど洪水保険の先進国から制度や実施状況を学び、料率や逆選択等、保険の継続が困難に陥らないように保険加入者が多くなるようなインセンティブを考えた水害保険制度について検討することが大切である。

## 参考文献

- 1) 水災害分野における気候変動適応策の在り方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～中間とりまとめ、社会資本整備審議会河川分科会、気候変動に適應した治水対策検討小委員会、平成27年2月。
- 2) 平成23年7月新潟・福島豪雨水害の検証を踏まえた治水方策に関する懇談会：新潟・福島豪雨水害を教訓とする今後の治水方策について、国土交通省北陸地方整備局、2011。
- 3) 福岡捷二、河道設計のための基本は何かー水面形時系列観測と洪水流－土砂流の解析を組み合わせた河道水理システムとその見える化、河川技術論文集、第17巻、pp. 83-88、2011。
- 4) 福岡捷二、実務面からみた洪水流・河床変動解析法の最前線と今後の調査研究の方向性、河川技術論文集、第20巻、pp. 253-258、2014。
- 5) 福岡捷二、大規模洪水に適應する河道の設計・管理技術、2014年度（第50回）水工学に関する夏季研修会講義集、水工学シリーズ 14-A-7、土木学会、2014。
- 6) 内田龍彦、福岡捷二：浅水流の仮定を用いない水深積分モデルによる底面流速の解析法、水工学論文集、第56巻、I\_1225-I\_1230、2012。
- 7) 田端幸輔、福岡捷二、瀬崎智之、超過洪水時における堤防破堤確率評価手法に関する研究、土木学会水工学論文集、第59巻、2015。
- 8) コンパクトシティ実現のための都市計画制度、ぎょうせい、2014。