

# 琉球大学学術リポジトリ

## 外力規模の連続性を踏まえた水害被害の捉え方 と総合的な水害対策整備の検討プロセス

メタデータ	言語: ja 出版者: 沖縄科学防災環境学会 公開日: 2023-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): mean annual damage, exceedance force, flood control measures, benefit, investment 作成者: 福田, 朝生 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24564/0002019649">https://doi.org/10.24564/0002019649</a>

# 外力規模の連続性を踏まえた水害被害の捉え方 と総合的な水害対策整備の検討プロセス

福田 朝生<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学工学部 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)

近年、毎年のように大きな水害が発生しており、さらに温暖化に伴う降雨の激甚化も予想されている。このような状況において、流域全体として水害に対してレジリエントな社会を構築していく必要がある。現在の河川改修は、河川毎に計画規模(外力)を定めて進められている。これに対し、本稿では、河川の計画規模にとらわれず種々の外力がある中での水害被害の捉え方を説明し、これを踏まえ、限られた費用を流域全体の水害対策に如何に適切に費やすかという水害対策整備費の検討プロセスについて提案する。

**Key Words:** mean annual damage, exceedance force, flood control measures, benefit, investment

## 1. 序論

近年、毎年のように大きな水害が発生しており、さらに、温暖化に伴う降雨の激甚化も予想されている。このような状況において水害に対してレジリエントな社会を如何に構築していくかが喫緊の課題となっている。従来の治水対策は、河川整備が主であった。しかし、河川整備費にも制限があるため、多くの河川では、河川計画の目標の治水安全度には達しておらず、豪雨により頻繁に洪水氾濫が生じている。このような現状を踏まえ、わが国では水害対策をさらに進めるため、河川整備だけでなく、流域全体で治水対策を講じていく方針が示されている<sup>1)</sup>。しかし、河川の整備では、河川毎に計画規模を設定し、そこに向けた整備を行っていくという従来の考え方から大きくは変わっておらず、流域全体の水害対策を見据え、水害対策の整備費用を如何に最適に投資していくかという整備の決定プロセスにはなっていない課題がある。

河川毎に計画規模を設定する従来の整備手順では、主に計画規模の洪水外力を設定し、この外力を目安として整備を決定していく。このような手法は、検討する洪水も主に計画規模に限定するのが一般的である。外力を計画規模に限定することにより、整備の検討手順を縮小することができ、特に計算機の計算能力が十分ではなかった時代では、合理的な河川整備の検討手法であった。しかし、今後来る外力は、人が決めることができないものであり、計画規模以内にとどまる保証はない。外力とは計画規模以下の確率から、計画規模以上の確率まで連続的に発生するものである。したがって、計画規模以上の

外力も生じることを前提とし、外力規模は幅広く連続的であるということを素直に捉え、これを前提として限られた整備費用を如何に最適に投資していくかという、投資方法を決定するプロセスに変更していくことが重要である。本稿では、この「外力規模の連続性を考慮した水害対策整備決定プロセス」を「連続外力整備プロセス」と略してよぶこととする。このプロセスでは、計画規模以上の外力が生じることを前提とするため、流域で氾濫する状況も当然想定し、水害対策の整備内容を決定することとなる。そのため、連続外力整備プロセスは河川毎に計画規模を定める整備プロセスよりもはるかに煩雑となり、これが、連続外力整備プロセスの大きなデメリットである。また、氾濫計算なども多数実施する必要があるため、計算機の能力も大いに必要となる。しかし、流域の水害被害ポテンシャルを見極め、水害対策に向けて如何に効果的に費用を費やすかという観点からは優れており、このような整備決定プロセスについて検討していくことが重要である。

本稿では、水文統計などの確率曲線式の式形を議論することには着目せず、現象が確率的であるということをも十分踏まえた上で、水害対策のために現象のデータを、如何に取り扱うかという点に着目している。

また、大きな洪水外力の際には、土砂や流木の流出も生じる複合災害となる場合が多い。そのため、土砂や流木の流出についてもこの一連の検討プロセスの中を含むことが重要である。しかし本稿では、確率的なデータを取り扱う際の問題点を明確にすること、及び説明の簡略化のため、特に現象を水害に限定して、外力に対する捉

え方や、それを踏まえた整備の検討手法に着目して、議論を進める。

本稿で提案する、外力を超過外力まで連続的に考えることや、河川や溪流の整備と流域の整備を一体として災害対策を検討することの重要性は、水害対策と、土砂や流木の流出を踏まえた対策とで違いはない。したがって、本稿では、水害対策に限定して、連続外力整備プロセスについて説明するが、土砂、流木を踏まえた対策についても本稿で提案する検討プロセスはほぼそのまま活用可能である。

本稿では、2章で、河川毎に計画規模を決定する従来の整備プロセスの課題を説明する。3章では、水害被害の捉え方を説明する。4章では、水害被害を踏まえた上での現況の被害と将来の被害、および河川整備との関係を説明する。5章では流域の被害を捉えた上での整備内容を決定する際のシミュレーション的検討を示し、連続外力整備プロセスの有用性を説明する。6章では、流域内の想定される被害の公表による、真に水害対策をベースとした街づくりについて提言する。7章では本論文のまとめを示す。

## 2. 河川計画規模を設定するのではなく被害ベースで整備優先順位を決定することの重要性

河川個別の計画規模ではなく、被害ベースで投資先を決定することの重要性について説明する。河川の断面と氾濫域の地形と資産の状況として 図-1 のような条件を仮定する。河川計画規模の超過確率年の時の水位が水色の線であるとする。現況の茶色の断面から河川計画の規模まで達成させるために、右岸の緑の破線の断面の築堤が必要であるとする。この時、左岸は、すでに計画規模の安全度は確保されているものの、計画規模以上の外力により、赤線に相当する河川水位の状態となると右岸も左岸も被害が発生する。しかしこのとき、左岸の方が氾濫原の地盤が低く資産が多いため、右岸と比較し被害は大きくなる。一方、仮に右岸の築堤をやめ、左岸の築堤を行った場合は、赤線の外力に対しても左岸の被害は抑えられる。右岸も床下浸水程度であるとするならば、右岸の築堤よりも左岸の築堤を優先した方が、全体の被害軽減のためには良い。河川毎に計画規模を決めて整備してしまうと往々にして、右岸の築堤を実施する状況を作ってしまう。一方、外力は連続的に変化するものであることを踏まえた連続外力整備プロセスでは、計画規模を上回る外力まで考慮した上で、最適な左岸築堤の判断ができるようになるメリットがある。

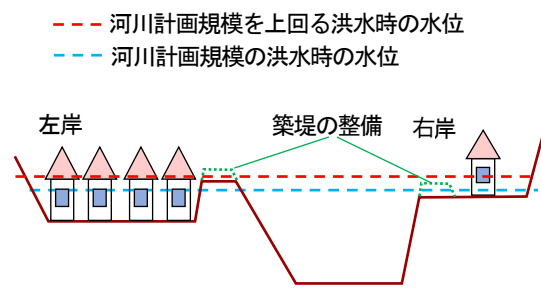


図-1 河川断面と氾濫域の地形と資産状況の一例

## 3. 水害被害の捉え方

外力規模が連続的に変化する中で、流域の被害をどのように捉えるかについて説明する。外力規模が連続的に変化する中では、次にどのような確率規模の外力が生じるかが不明であるため、ある1つの大きな確率規模の外力が発生した際の被害額を求めるだけでは、将来の被害等を推定する上では不十分である。このような確率的に生じる外力に対して、適切に将来像を考察するためには、被害の期待値を議論することが重要である。被害の期待値を考察することは、治水経済調査マニュアル<sup>リ</sup>にも記載されており、このこと自体は特段新しいことではない。治水経済調査等で扱う河川整備に係る被害は、外力として河川計画規模を上限として被害の期待値を求めている。しかし、外力の規模が、河川の計画規模を大きく上回ることも自然に生じるのであれば、確率的現象が社会に及ぼす影響を推定するためには、河川計画規模に関係なく、それを超える大きな外力まで考慮して被害を考察することが妥当である。

一般的な河川整備における被害の算出において、河川計画規模以上の被害を考察しない理由は、計画規模以上の被害軽減は、河川整備の効果としては担保できないということが背景にあるといえる。一方、河道掘削などをイメージすると、その効果は河川の計画規模を上回る外力に対しても被害軽減として効果を発揮するはずである。したがって、整備と被害の振舞いを正しく考察するためには、河川整備の計画規模を上回る外力についても考慮して被害の期待値を算出することが重要である。さらに、水害に対する想定外となる事象を減少させていく意味でも、河川計画規模以上の外力について、河川整備の検討の中に含め、流域の整備や避難などの水害対策も合わせて考察していくことが重要である。

本稿で提案する被害の期待値の算出方法を説明する。仮想的な流域として、1時間雨量が洪水のピーク流量と大きな相関を持つ、小さな流域を想定する。この図の仮想的な年最大雨量  $r$  の確率密度関数  $f(r)$  の分布とその降雨が発生した際の被害  $D(r)$  の関係を 図-2 に示す。確率密度関数  $f(r)$  とは次のように雨量で積分した

際に1となる関数である。

$$\int_0^{\infty} f(r)dr = 1 \quad (1)$$

被害額の算出方法について説明する。被害額1については、まず、各降雨規模の外力を与え、図-3に示すように氾濫計算を用いて流域の浸水深を求める。この際、河川からの氾濫による外水氾濫だけでなく、流域内の内水氾濫や、本川や支川などを同時に考察できる氾濫計算モデルを用いることがより望ましい。そして、各資産で図-4に示すように浸水深と被害額の関係をあらかじめ求めておき、氾濫計算された浸水深を基に、資産ごとの被害額を求め、流域全体でその被害額を合計する。

図-2の想定では、時間雨量30mm/hr程度から流域内のいずれかで被害が生じ始めていることを想定している。流域内の資産が被害の上限であることから、確率規模が大きくなると被害は一定値に収束するようになっている。毎年生じる被害の期待値 $\bar{D}$ は、図-2のある $r$ について $f(r)$ と $D(r)$ で張られる面積 $f(r)D(r)$ を算出しこれを $r$ で積分して得られる。

$$\bar{D} = \int_0^{\infty} f(r)D(r)dr \quad (2)$$

すなわち、図-5に示す。ピンク色の物体の体積が年平均の被害額の平均値となる。

#### 4. 河川整備と確率規模毎の被害の分布の関係

これまでに述べた被害の捉え方にに基づき、一般的な河川整備と被害の振舞いの関係を説明し、流域全体の水害対策の必要性と、外力を連続的に考えることの重要性を述べる。図-6は、河川整備の有無と外力に対する被害変化の振舞いを模式的に示したものである。上段が、雨量の確率密度で、下段が被害の密度である。下段の縦軸の被害の密度とは、図-2に示す。雨量の確率密度 $f(r)$ と $D(r)$ の積であり、雨量 $r$ で積分すれば、年平均被害額 $\bar{D}$ となる量である(式(2)参照)。下段は、これまでの河川整備とこれに応じた被害の振舞いを示している。

これまでの河川整備により、緑の破線の被害から、現況の河川整備に対する被害の赤線に変化している。さらに、今後の河川整備が計画規模まで実施されると、被害は、紫の破線まで大きく減少することとなる。現況の河川の流下能力より、小さな雨量でも現況の河川整備状況で被害があるように図化した理由は、流域内の内水氾濫などがあることを想定したためである。ここで、注目すべきは、図中の紫線の破線で河川計画整備後の被害分布を図示しているが、今後膨大な投資を行い、河川計画が達成されても、必ずそれらを上回る被害は生じ得るということである。さらに、費用の面から、早期に河川計画

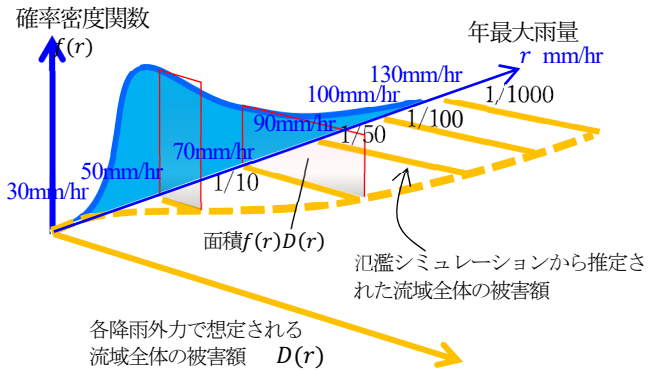


図-2 降雨外力とその確率および被害額の関係の模式図

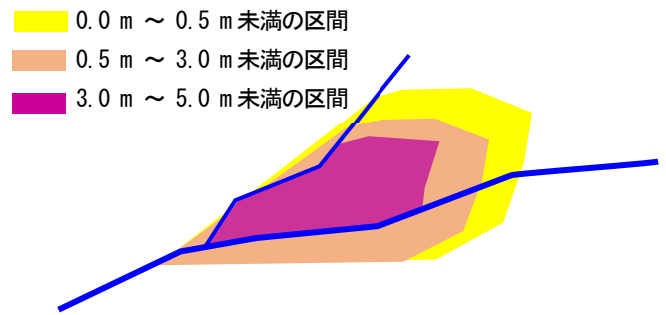


図-3 氾濫計算の一例

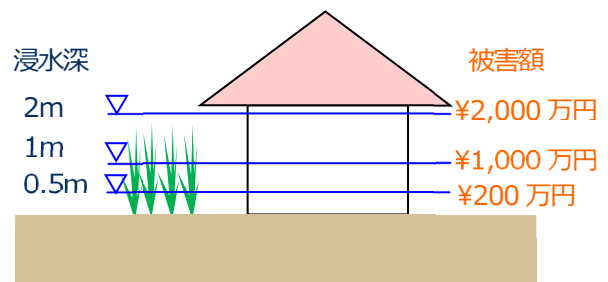


図-4 浸水深と被害額の関係

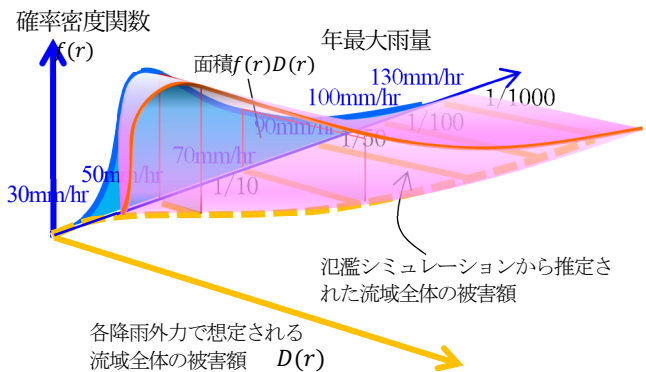


図-5 被害額の期待値の模式図

現況施設能力以上の外力に対しては、河川管理者は被害に責任を持つことができない。しかし、行政として河川計画を超過する外力も含めて被害をできる限り推定し、総合的な対策を講じていくことが重要である。

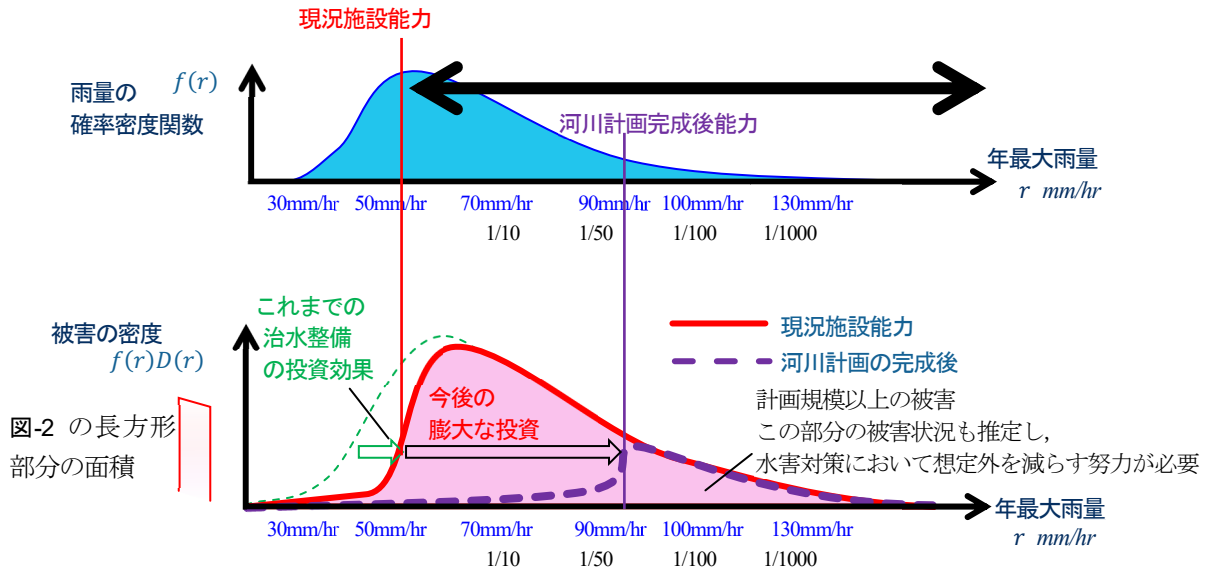


図-6 河川整備の有無と外力に対する被害変化の振舞いの模式図  
 上段：年最大雨量の確率密度，下段：各整備段階の被害の密度

規模まで整備を進めることは一般的には期待できない。このため、まず現況における被害の分布を正しく理解し、水害対策を考察する必要がある。河川整備費用にも限界がある中、河川管理者は現在の河川整備状況に対してしか責任を持つことができない。すなわち、図中で、主に赤線より右側となるピンクハッチで示された大きく広がる被害については、河川管理者は責任を持つことができない。これらの被害は、河川ではなく、流域で生じるものであるが、この流域で生じる被害を流域全体でどのように対処すべきかについて、流域内で俯瞰して取り組む組織は必ずしも整っていない。現況ではこの被害の対策は、地先の市町村の避難などに限定されている。しかし、被害軽減に対する対応は、避難以外にも、土地利用規制、建築規制などもあるし、水害に対して強い建物への改修などに対する補助金なども考え得る。また、水害保険もある種の被害対策となり得る。このようなことを、流域として総合的に検討していく必要がある。河川改修は水害対策において、極めて有効な手段であることには間違いはない。しかし、図-6 に示すように今後長期にわたり、流域の被害が残ることを想定すると流域側からの被害軽減を積極的に取り組む行政組織の構築が必要である。

## 5. 流域整備および河川整備を含む総合的な水害対策整備の決定プロセス

4章では、河川整備以外の水害対策整備の例をいくつか挙げたが、このような河川整備と河川整備以外の水害対策整備の両者を踏まえ、水対策として如何に投資していくかについて述べる。まず、河川整備とその他の水害対策を同時に考察することの重要性について述べる。例えば、1章では、図-1 を用いて、河川改修として築堤を行うことを想定した水害対策について説明した。しかし、ここで、氾濫域の人家が少なければ、連続的な整備をしなければ効果を発揮しない築堤よりも建物を高上げすることの方が、少ない費用で水害対策を行うことができる可能性もある。このようなことを流域全体で考慮し、水害対策に費用を如何に最適に投資するかということが重要であり、このような検討を実現するためには、河川整備と流域内の水害対策を同時に考える必要がある。また、特に計画外力規模の洪水を想定した場合、このような流域内の整備は現状の河川整備の検討では考察されない。河川計画上の超過外力も踏まえて、外力を連続的に捉え、河川と流域が一体となった水害対策を考察することが重要である。

図-7 には、総合的な水害対策を決定するための判断指

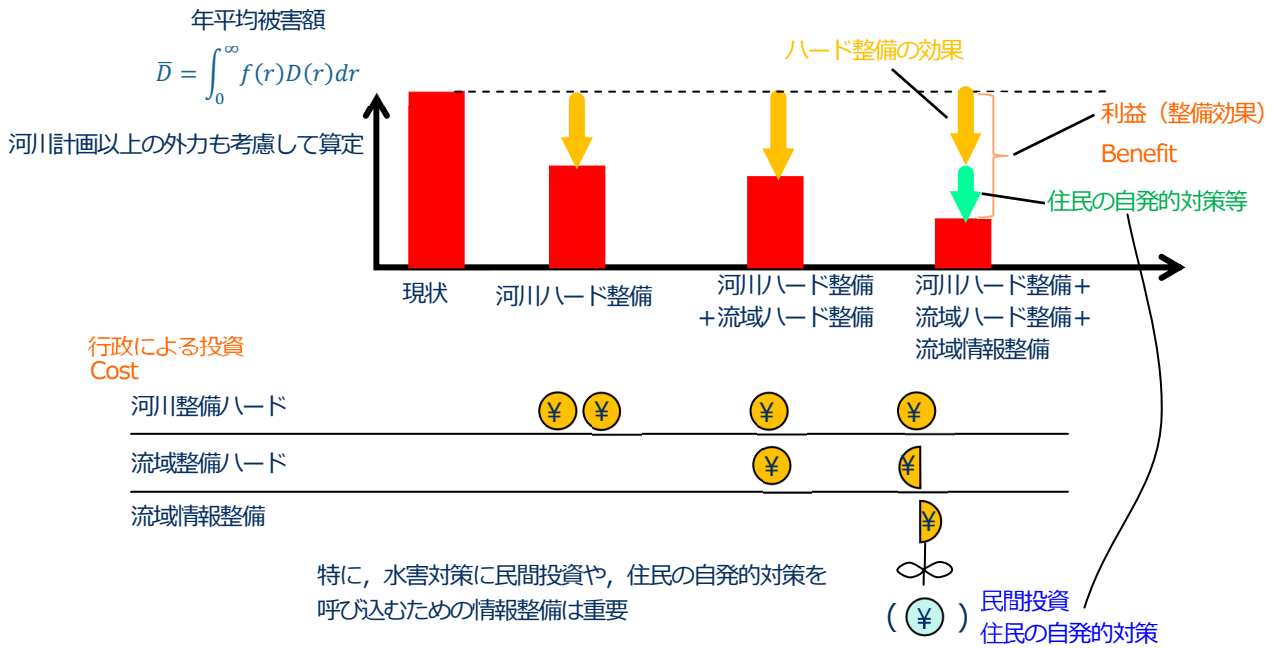


図-7 総合的な水害対策を決定するための判断指標となる費用とその効果

標となる費用と効果の関係の模式図を示す。この図では、水害対策として、「河川整備のみ」、「河川整備と流域のハード整備」、「河川整備と流域のハード整備、および流域の情報整備」の3ケースを水害対策の例として示している。ここで、流域のハード整備とは、宅地の嵩上げなどを想定しており、流域の情報整備とは、被害ポテンシャルを住民に的確に伝えるための取り組みに要する費用などを想定している。各ケースの整備効果は、現況のケースの被害額に対する各整備ケースの被害額の減少額として評価することができる。被害額の減少を水害対策の効果として見ることは、従来の治水経済調査と変わらない。ここで、本稿で提案することは、従来は、河川のみで整備を考えていたが、今後は、流域整備も横並びで最適な投資方法を検討していくことが重要であるということである。さらに、近年水害が増加しており、水害対策も経済のマーケットとしてその影響が大きくなってきている。例えば、流域の被害ポテンシャルの情報整備などは、住民はもちろんのこと、水害保険なども密接に関係することである。したがって、流域住民の自発的な水害対策を促すことや、民間の投資を呼び込むことができる流域の情報整備を実施していくことが重要である。この点については、次節で詳述する。

## 6. 各戸単位の年平均被害額をより身近に

本稿では、流域の年平均被害額を河川整備の効果や投

資の指標として積極的に用いていくことを提案している。本章では、さらに、各戸単位の年平均被害額を住民により身近なものにするの重要性とそのアプローチについて述べる。この各戸単位の年平均被害額を広く公表または、住民に対してよりアクセスしやすい情報とすることで、住民のリスク管理上の大きなメリットとなり、耐水構造の建築の増加や、リスクの低い土地への居住地の移動に対する経済的インセンティブになると考えられる。特に今後は、人口減少に伴い、現状のまま離散的に広がっているインフラ整備を容認すれば、その維持管理が困難となることから、このような状況を防ぐために、コンパクトシティー化が求められている。各戸単位の年平均被害額をより身近なものとし、リスクの低い土地への人々の居住地の自発的な移動を促し、災害に対してより安全なコンパクトシティーの創出に繋げていくことが重要である。

ここで、本来であれば各戸単位の年平均被害額を公表できれば良いが、土地とその場所の資産の関係は、個人の意思で自由に変更することができる。したがって、公の機関が各戸単位の被害額を公表したとしても、個人が建物を改築するなどすれば公表した被害額は誤った値となり、被害額の値の精度は担保できない。一方、被害額算定時に推定される、確率規模毎の氾濫水位などの水理データは、個人の活動によって大きく変更されることはない。したがって、このような確率規模毎の水理データは積極的に公表することが望ましい。さらに、水害保険の保険料は、いやがおうでも年平均被害額に依存したも

のとなる。そのため、保険会社は、年平均被害額を算定する動機付けがある。確率規模毎の水理データが公表されていれば、各々の土地の資産に応じて保険会社等が容易に適切な年平均被害額を算定可能となる。そして、水害保険が広く社会に受け入れられれば、住民は、直接的に年平均被害額として、または、間接的に保険料としてその土地の水害リスクを把握できるようになると考えられる。

このような社会の流れに持って行くためには、確率規模ごとの水理現象の算定をスムーズに行う必要がある。現在、河川の断面データは、河川管理者が保持しており、一般の人が容易にアクセスできるようにはなっていない。このことは、確率規模毎の被害額の算定が、河川管理者の作業の進捗に依存してしまう状況を招いている。加えて、民間の参入を阻害し、水害対策や防災に関する民間主導の新しいアイデアの創出の阻害要因になっていると思われる。また、河川管理者が流域の水理現象を推定する場合、精度向上に対する動機づけは弱いと考えられる。一方で水害保険会社は、安易に高い被害を想定すれば、保険料が上昇し、マーケットから淘汰され、逆に安易に低い被害を想定すれば、その影響は過度な保険金の支払いとして自身に跳ね返る。このような要素があるため、保険会社には、被害額の推定精度の向上に対する大きなインセンティブがあるといえる。したがって、被害額算定精度向上に対して動機づけの大きい、保険会社など直接水害をマーケットとして取り扱う民間会社が主導して、被害額の算定をできるようにすることで、確率規模毎の水理現象の算定の早期実現と、継続的な精度向上の取り組みの両者が期待できる。このような民間会社による水理解析を促すために、河川管理者が持つ河道の地形データなどを広く公表していくことが重要であり、これらのデータにアクセスしやすくするための情報整備も重要である。

## 7. おわりに

本稿では、外力規模の連続性を踏まえた水害被害の捉え方と総合的な水害対策整備の検討プロセスについて、説明した。この水害対策整備の検討プロセスは、従来の

河川整備を単独として考える水害対策の検討プロセスと比較し、水害対策整備に費用を効果的に使うことができる可能性がある。提案した手法は、例えば、河川の洪水流計算と堤防の破堤の計算や、流域の氾濫計算などの種々の現象を総合的に考察することが求められる。これらの推定精度は現状において課題が残されていないわけではない。しかし、現状の技術を集結すれば、本稿で提案した連続外力プロセスを、有効な水害対策の検討プロセスとして活用することは可能と考えられる。その一方で、堤防の破堤の有無などは、水害被害に大きな影響を及ぼす要素であるが、このような複雑な自然現象に対する解析精度を高めていくことや、氾濫が経済に及ぼす影響の算定精度を高めることなどについて、今後も技術を進展させていく必要がある。

さらに本稿では主に、水害被害に着目して議論を進めたが、豪雨の際は、土砂や流木の流出も生じる複合災害となる場合も多い。本稿で説明した水害対策の検討プロセスの考え方は、水害だけでなく、土砂や流木災害にもそのまま適用できる。近年では、流域からの大規模土砂の流出シミュレーション<sup>3)</sup>も実施されるようになってきており、このようなシミュレーションも積極的に活用して流域の土砂や流木の流出を含む自然災害の推定を進め、対策整備に向けた最適な投資を検討していくことが重要である。さらに、流域全体を考慮した連続外力整備プロセスでは、これまでの治水整備の検討と比較すると格段に多くの計算が必要となる。国としてのこのような防災に係る計算施設を実務や研究のために整備していくことも必要と考えられる。

## 参考文献

- 1) 特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律(令和3年法律第31号)について、公布:2021.5.10
- 2) 治水経済調査マニュアル令和2年4月、国土交通書水管理国土保全局、2020.
- 3) 山野井一輝、大谷英之、陳健、大石哲、堀宗朗、水・土砂の流出氾濫統合モデルの構築とHPCによる朝倉市杷木地区への適用、土木学会論文B1(水工学) Vol.74, No.5, pp.I\_889-I\_894, 2018.

(Received February 8, 2022)  
(Accepted February 28, 2022)