

国土強靱化に向けた水災害に対する新しい思想～流域治水の考え方～



中央大学研究開発機構
教授

山田 正

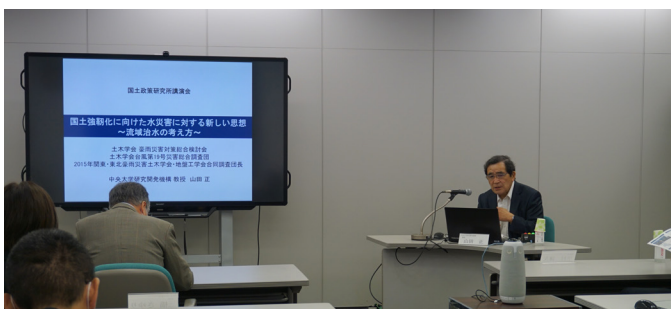
プロフィール

1951年生まれ、76年中央大学大学院修了後、東京工業大学工学部助手、85年防衛大学校土木工学教室助教授、86年北海道大学工学部助教授、92年中央大学理工学部教授を経て、2021年より現職。2014～16年水文・水資源学会長。土木工学、防災工学、水工水理学、水文学などの教育・研究に従事。主な表彰としては水文水資源学会功績賞、土木学会功績賞、第11回産学官連携功労表彰国土交通大臣賞 など

はじめに

「流域治水」という言葉を国土交通省水管理・国土保全局が採用する以前、毎年発生する洪水災害に対しては個別に土木学会の災害調査団が結成されていました。例えば、土木学会台風第19号災害総合調査団や、鬼怒川が溢れた際の2015年関東・東北豪雨災害土木学会・地盤工学会合同調査団などです。その後、このような個別の災害ではなく日本全体の豪雨災害を検討し、国民や政府に対して提言をするために、2020年7月に土木学会の中に豪雨災害対策総合検討委員会（以下、検討委員会）が設置され、現在に至ります。

2021年4月、この検討委員会から最初の提言を出しました。1つは、「今の降雨は計画における雨の総量を超えている」というものです。大きな川を除き、河川計画は主に2日間の降水量を基準として作られています。しかし、2019年の台風第19号災害やそれ以降の豪雨災害では、12時間ほどで計画値に近い降水量となっています。こういった「新しい雨の降り方」に対してどう考えれば良いのかということを提言しました。もう1つは、検討委員会や気象庁及び気象研究所などの調査によると「梅雨期の大雨の約75%が線状降水帯による降雨である」ということです。全域に降るだけではなく、線状に雨域が集中しているということは、川がその線状降水帯と並行している場合、同じ雨量でも川の流量が増えるということになります。鬼怒川や昨年の球磨川を襲った豪雨もそのケースです。要するに、今までとは違った雨の降り方をしているのです。



こういった状況下で、本当に川だけで治水が可能なのでしょうか。一級河川は国、二級河川は県が管理しますが、市が管理しているような小さな河川においては負担が非常に大きくなってしまいます。そこから「川と地域を一緒に考えない限り、災害を小さくすることはできない」という考えに至り、その思想に「流域治水」という名前がつけました。

「流域治水」という言葉は以前からありましたが、ダムを作る代わりに流域治水で対応するという考え方が主でした。一方で、私たち検討委員会の考えは、ダムや遊水地の建設を排除するわけではなく、もっと総合的に考えようというものなのです。

1 豪雨災害の変遷

1.1 災害に対して非常に脆弱な国土構造

図1は、国土交通省のホームページに載っている国土利用状況のグラフです。これを見ると、日本の人口・資産が洪水氾濫区域内に集中していることがわかります。先進国では類がなく、他国との比較ができませんが、唯一比較が可能で参考になるのはオランダではないかと思われます。特に軟弱地盤の堤防に関する研究は、大いに参考になると思います。

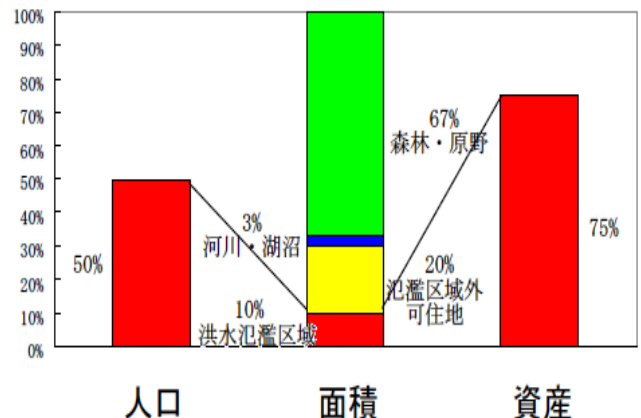


図1 日本の国土利用状況（出典：国土交通省）

1.2 水害による死者数と被害額の関係

図2は戦後の水害による死者数と被害額の推移を示したものです。戦後間もなく、カスリーン台風や伊勢湾台風で1000人～5000人近くが亡くなっていますが、それ以後は治水対策によって数十人から200人程度の間を推移しています。この数値は、大雑把に言うと米国における洪水死者数と概ね同じになります。米国の国土面積は日本の約25倍ですので、日本は水害に見舞われやすい国であることが分かります。

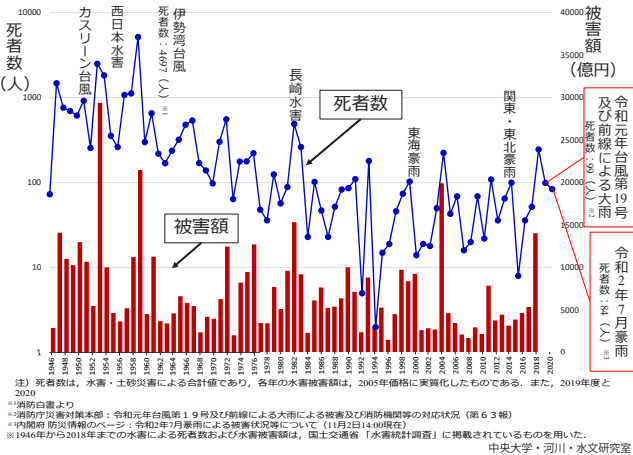


図2 水害による死者数と被害額の推移

1.3 多発する流木災害

最近では流木災害も多発しています。かつては柴刈りをして薪を焚いていたものが、電気やガスの普及等で刈られなくなった上に植林も盛んに行った結果、今の日本は有史以来、山に木が有り過ぎる時代となっています。そのため、洪水が起きると大量の流木が発生し、橋梁などに詰まって流失や氾濫を引き起こしています。対策としては例えば流木捕捉施設の設置がありますが、九州では施設自体が壊された例もあります。

平成27年関東・東北豪雨

・鬼怒川水系に連続降水帯による降水が集中し、鬼怒川が決壊した。



【出典】国土交通省 関東地方整備局

平成28年北海道豪雨

・4つの台風の上陸・接近による金道各地での記録的大雨は発生するとともに、前例のない広域な被害(氾濫、橋脚の流出、農業被害)が生じた。



【出典】国土交通省「平成28年台風10号による洪水状況について」

平成29年7月九州北部豪雨

・台風と梅雨前線の影響により、河川の氾濫や大規模な土砂崩れが発生した。
・河川に流れ込んだ流木による被害が増加した。

平成30年7月西日本豪雨

・台風と梅雨前線の影響により西日本各地で記録的豪雨が発生した。
・西日本を中心に多くの地域で河川の氾濫や土砂災害が発生し、平成最悪の被害となった。

中央大学・河川・水文研究室

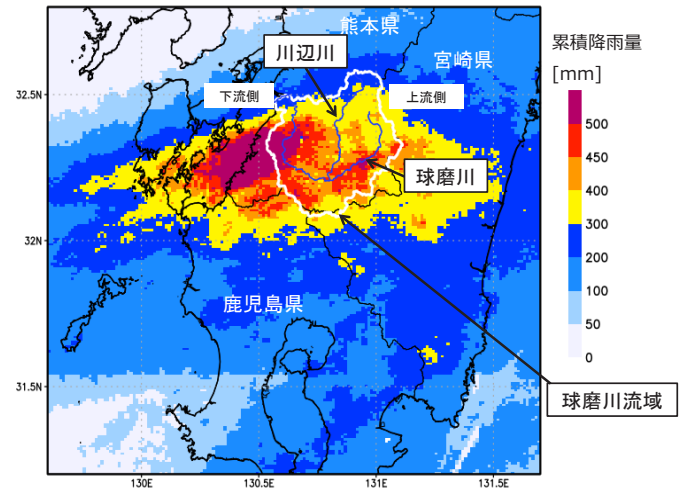
図3 近年における記録的豪雨の多発について

これ以外の対策として、どうしても詰まってしまうのであれば、「溢れることを前提として、局部的に堤防を弱く作りませんか」と提案したことがあります。流木が詰まった状態でシミュレーションをすると、橋梁の周りだけ堤防が壊れて小氾濫を起こしますが、大氾濫は起こしません。そして何よりも、橋梁そのものはしっかりと残ります。例えば堤防を砂利で作れば簡単に削られてしましますが、溢れた水はまた川に戻ることで被害が最小となり、すぐに復旧が出来る上に橋梁も流されずに済みます。そのような具体的な提案もしてきました。

1.4 令和2年7月豪雨

図4は令和2年7月豪雨の球磨川流域の2日累積降水量で、レーダーの画像を重ね合わせたものです。

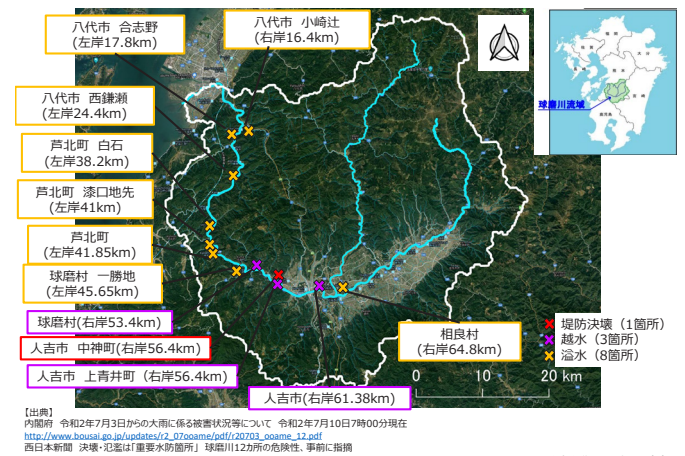
球磨川流域 対象期間：7/2 12:00から7/4 12:00



中央大学・河川・水文研究室

図4 令和2年7月豪雨の2日累積降水量

球磨川の上流は東から西に、中下流は南から北に向かって流れていて、西から東へと雨が降ると非常に守りにくい。さらに、人吉市あたりは盆地になっていて、盆地を出ると山間を縫っていくような川となっています(図5)。



【出典】内閣府 令和2年7月3日からの大雨に係る被害状況等について 令和2年7月10日7時00分現在
http://www.bousai.go.jp/updates/r2_0703ame/pdf/r20703_03ame_12.pdf
西日本新聞 決壊・氾濫は「重要水防箇所」 球磨川12カ所の危険性、事前に指摘

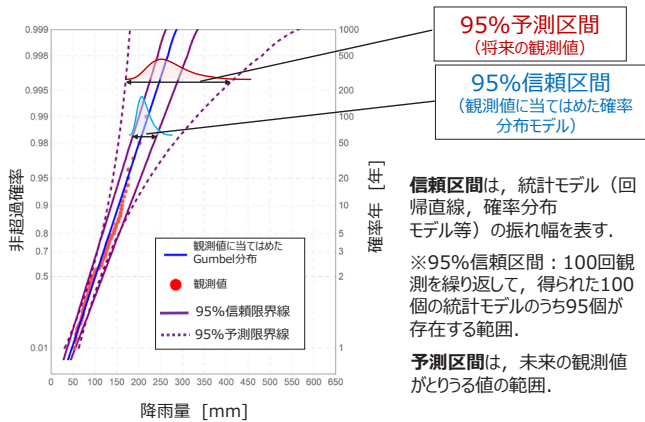
中央大学 河川・水文研究室

図5 球磨川氾濫箇所、決壊箇所

人吉市は、街と川が一体となっているので、ちょっとした対策では守れないと思います。昨年の12月、熊本県知事には「ダムを造ったからといって、被害を完全にゼロにすることはできない」ということをお伝えしました。国土交通省の試算でも同様で、ダムを造ったとしても、大なり小なり同じような災害が起こります。そのような地域を守るためには、総力戦しかないということになります。ダムはもちろん、上流の田んぼや利用されていない土地に臨時的遊水機能を持たせるような使い方、あるいは建物のピロティ形式化や、国道や県道を二線堤とするなど、色々と考えられます。もっとも、このような対策は戦前から行われており、堤防の機能を果たすように常磐線を移設した例があります。

1.5 信頼区間と予測区間

本日の1つの結論が図6になります。横軸が総降雨量、左の縦軸が非超過確率、右の縦軸が確率年で、赤い線が実測値です。最近の雨は、今までの実測値から大きく外れた値が出てきますので、これをどう考えるかが問題になります。



※図中に示されている、青色の曲線はT年確率降雨量の分布のイメージ図、赤色の曲線はT年最大値の予測分布のイメージ図である。
 中央大学 河川・水文研究室

図6 信頼区間と予測区間の概要

今までは、過去の観測値に最もよく当てはまる極値分布の1本の青線だけを見て議論し、計画が作られてきましたが、この線は一種の平均値、期待値の線です。もし、この線だけで統計学の論文を出したらリジェクトされてしまいます。その両サイドにある茶色の線の間を信頼区間といいます。例えば、60年間の過去データがあり、歴史が同じことを何度も繰り返した場合に、そのうちの95%がこの幅に入るということを示したものです。さらに、点線の間を予測区間といいます。これは、1本の分布曲線を仮に決めて、その分布になるような乱数を発生させたものです。これらは「不確実性を考慮した統計学」であり、米国の治水事業を担当する陸軍工兵隊のマニュアルには15年前から取り入れられています。

日本は相変わらず青線1本で議論しているのですが、青色の分布や茶色の分布も考えないと本当の学術的な議論になりません。しかし、幅のある数値を出した場合、ハード対策、例えば堤防の高さやダムの大きさ等を設計できなくなります。

そこで1つの提案ですが、設計には期待値を使っていいのではないのでしょうか。ハードは期待値で設計をし、その一方で、リスク管理においては降雨量の予測値に幅があることを考慮する。例えば、期待値が250mm程度でも、350~400mm降る可能性もあることを考えておくということです。可能最大降水量という考え方もありますが、それも実は毎年増えています。かつての日本では600~700mmと言われていたのですが、台風第19号の際には箱根で1000mmを記録しています。どこまでの雨量を考えるのか。私は、それこそ流域治水の問題だと思います。それは、地元の人がどのくらい真剣に地元のことを考えるかということです。「どこまでハードで守って、どこまでソフトで対応するのか」ということが、本日は言いたいことの1つです。

1.6 予測区間による令和2年7月豪雨の確率評価

令和2年7月豪雨では、256.5mmの想定だったところに、327.0mmの雨が降りました（図7）。これをどう捉えるか。ここに多くの間違いがあります。

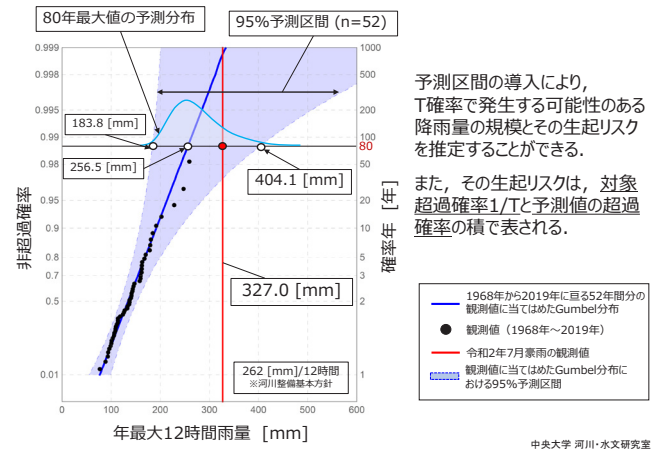


図7 計画規模降水量の予測区間による令和2年7月豪雨の確率評価

327.0mmの雨が降ると、グラフ内の赤線に沿って上に伸ばし、青線との交点を見て、「この雨は1000年確率だ」と言っていますが、これは統計学の誤用です。1000年ぶりの大雨であれば1000年確率ですが、実際には70~80年の観測値の中での最大値であるため、統計学を真面目に使えば80年確率となります。決して1000年確率ではありません。1000年確率だと言ってしまうと、国民に「1000年に1回のことまで考えるのか」というバイアスが入ってしまいます。実際には、95%の予測区間の中に入っているのです。決して1000年に1回の雨を議論しているわけではありません。

2 台風第19号の概況（千曲川）

2.1 千曲川（長野県）の氾濫・被害箇所

台風19号による被害を受けた千曲川では、決壊箇所はすぐに応急復旧し、土木学会の調査団も向かいましたが、「なぜここで決壊したのか」を教えてくださいない調査報告が多いのが実状です。横断面を見ると、堤防から堤防までの幅が約1kmあるにもかかわらず決壊しています。実は、江戸時代にもほぼ同じ場所で決壊しているのです。球磨川のように、全体的に溢れてしまう場合もあります。破堤はしなかったけれども水浸しになったケース、1箇所だけ破堤したケース等色々あるので、「なぜこの場所なのだろうか」を考えることも必要だと思います。

2.2 千曲川（長野県）の問題点

図8は、千曲川の川幅と水位縦断面図です。決壊箇所の川幅は約1000mありますが、それに対してすぐ下流側では、260mや120m程度になっています。

水位痕跡等からシミュレーションした結果、この狭まった箇所水がせき上げられ、それがバックウォーターとなって上流

へ戻った先で決壊したことが分かりました。球磨川も全く同じ構造です。このような場合にどうすれば良いのでしょうか。川幅を広げるようなことはとても出来ませんし、上下流問題というものもあります。この場所で決壊・氾濫したことで下流の流量が減り、新潟県が助かったという面もあるのです。長野県内で溢れないように下流に流してしまうと、今度は新潟県の区間の治水計画を全面的に見直さないといけなくなります。では、どのような対策を取り得るのか。私案をご紹介しますと思います。

3 河川の狭窄形状の違いが背水現象に与える影響

千曲川のように、川幅が1000mから120mに急縮する川を想定します(図9)。

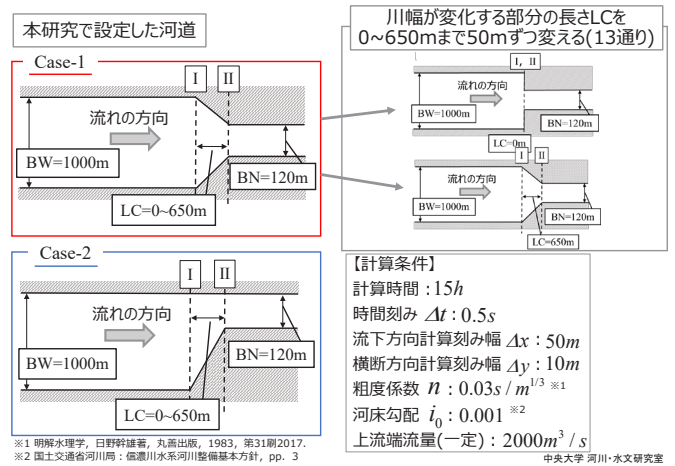


図9 設定した河道形状

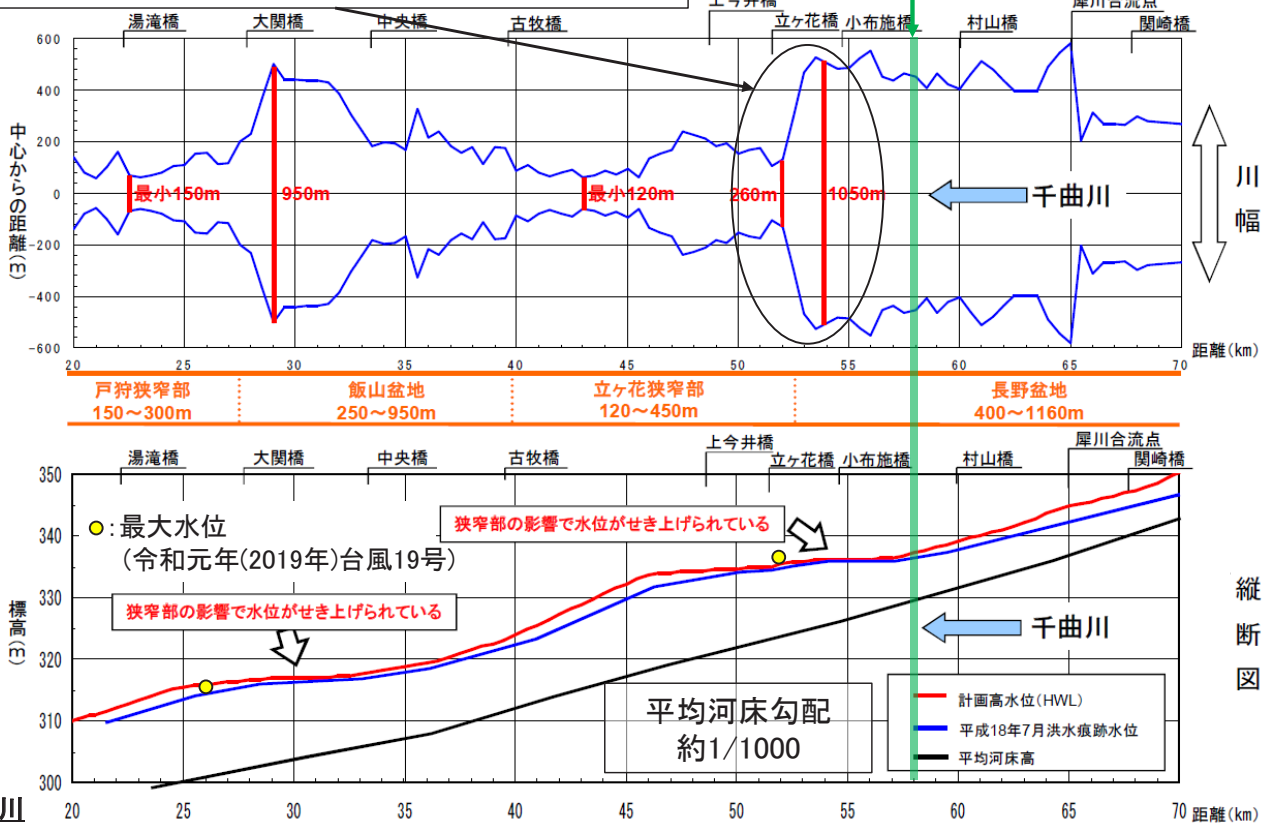
図10は、この急縮を、緩やかに狭まるよう(漸縮)にした場合のシミュレーション結果です。一番上の急縮の場合の水位に対して、緩やかにすれば狭窄部の水位は約1m下がることが分かりました。1mも下がれば大きな治水効果があります。

千曲川の川幅と水位縦断面図

川幅縮小率(縮流前の川幅に対する縮流部の川幅の割合を1から引いたもの)

(縮流前の川幅-縮流部川幅)/縮流前の川幅 × 100 = 約75.2%

令和元年(2019年)台風19号
堤防決壊箇所[左岸](川幅約820m)



千曲川

○計画規模:1/100, 計画降雨量:186mm/2日

○令和元年(2019年)台風19号:

最大降雨強度:16.6mm/h, 総降雨量 219.8mm (地上雨量計)

【加筆】国土交通省 信濃川水系河川整備計画[大臣管理区間] 2014
【出典】国土交通省 信濃川水系河川整備基本方針 基本高水等に関する資料 2008
https://www.mlit.go.jp/river/shingnkai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kihonhoushin/080208/pdf/ref5-1.pdf
中央大学 河川・水文研究室

図8 千曲川の川幅と水位縦断面図

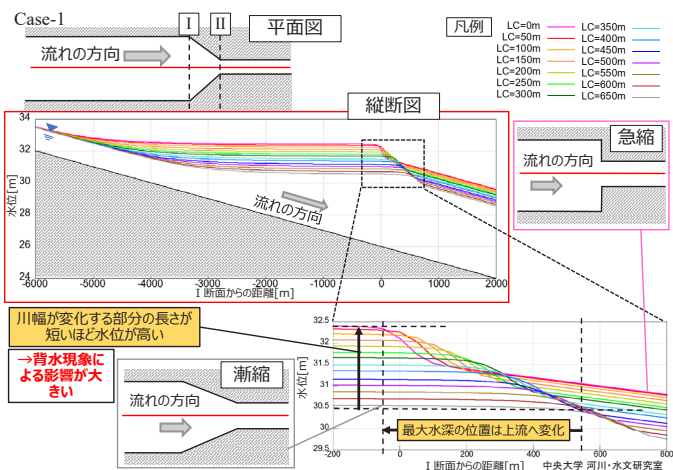


図 10 川幅が変化する部分の長さの違いと最大水深の関係

ところが、川幅の広い箇所に街がある場合、この部分の川幅を徐々に狭くして急縮を緩やかにすることになりますので、住民が恐怖心を抱いてしまいます。そこで私が提案しているのは、河道部分だけ緩やかにすり付けたらどうかというものです。しかし、この対策でも、溢れなかった分の水は下流に行くため、球磨川であれば八代地方の流量が増えます。信濃川であれば下流の新潟県といったように、上下流バランスを流域の問題として皆で考えることこそが流域治水です。流域治水というと「ダムを作らなくていい」と短絡的に捉えられがちですが、必要であればダムも作ります。ハードとソフトのベストミックスを皆で考えるのが、流域治水の本来の思想です。

4 都市域の感潮河川における河川整備の重要性

4.1 帷子川（横浜市）の例

近年になって造成された埋め立て地はそれなりの標高がある一方で、昔からの埋め立て地は低平地となっていることが多いのですが、そのような例として横浜駅の周辺を紹介します（図 11）。

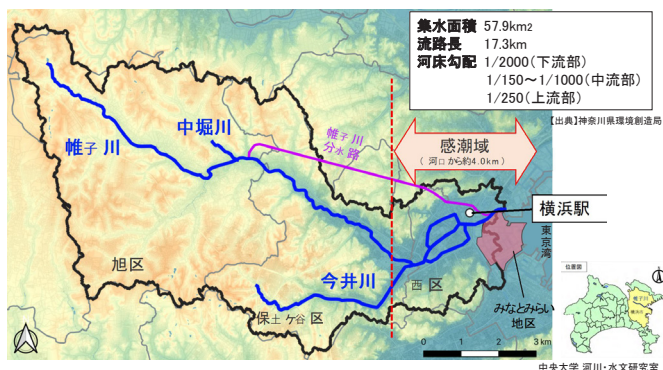


図 11 帷子川（かたびらがわ）

図 12 は、台風第 19 号の際の、帷子川の横浜駅付近の水位です。

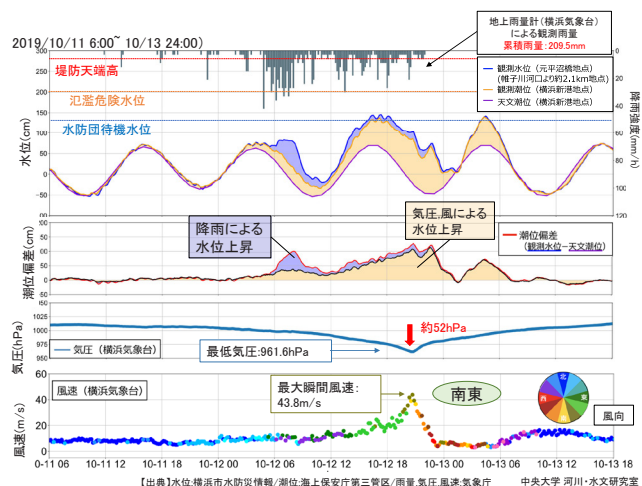


図 12 台風第 19 号上陸時の観測水位及び潮位、気圧、風の関係

綺麗な波形を描いているのが天文潮位で、長期の観測データと計算により高精度に推定可能な数値です。その数値に加えて、最大 100cm を越える水位上昇（潮位偏差）が見られました。この時は、台風の上陸時刻と満潮時刻のタイミングが少しずれていたことが幸運でした。気圧が 1hPa 下がると海面水位は 1cm 上がりますので、気圧が 52hPa 下がれば海面水位は 52cm 上がるようになります。さらに暴風による吹き寄せや波浪が重なり、海面水位は更に上昇します。

上陸時刻と満潮時刻のタイミングを人為的に合わせて、シミュレーションをした結果を図 13 に示します。気圧が一番低い時、横浜駅付近は氾濫危険水位ギリギリとなりました。横浜駅周辺は平時から川の水位の方が地面よりも高いのですが、講じられている対策はコンクリートの堤防の上に高さ 1m 程度のプラスチック板を載せる程度です。これが先進国、日本第 2 位の人口を抱える政令指定都市の現状です。

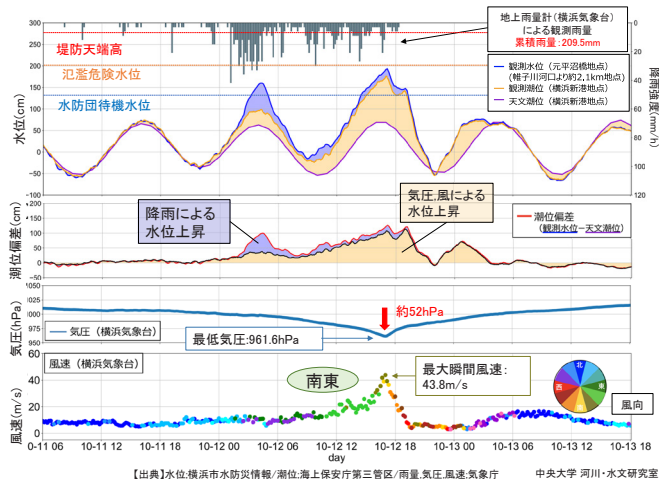


図 13 台風の上陸時刻と満潮時刻が一致していた場合

4.2 渋谷川（渋谷区）の例

渋谷駅の JR と東急を繋いでいる地下コンコースの天井に渋谷川が流れています。駅の再開発にあわせて流路を変更したのですが、工事中にゲリラ豪雨が来た場合には急激に水位が上昇し、逃げ遅れるという危険を孕んでいたため、洪水予報システ

ムを作成しました（図14）。工事中、実際にゲリラ豪雨が発生したものの、約3時間前に予報を出せたため対策をとることができ、重機が水没することも死者を出すこともありませんでした。



現在（2019年3月）の渋谷川「渋谷ストリーム」

図14 都市河川監視システムの試験導入流域

5 気候変動を踏まえた大規模豪雨予測の必要性

5.1 従来の水文頻度解析が有する困難点

図15は鬼怒川が決壊した平成27年9月関東・東北豪雨の降雨量を水文頻度解析の確率紙にプロットしたものです。過去の雨の分布曲線はグラフの青線ですが、鬼怒川決壊時の雨はそこから大きく外れています。

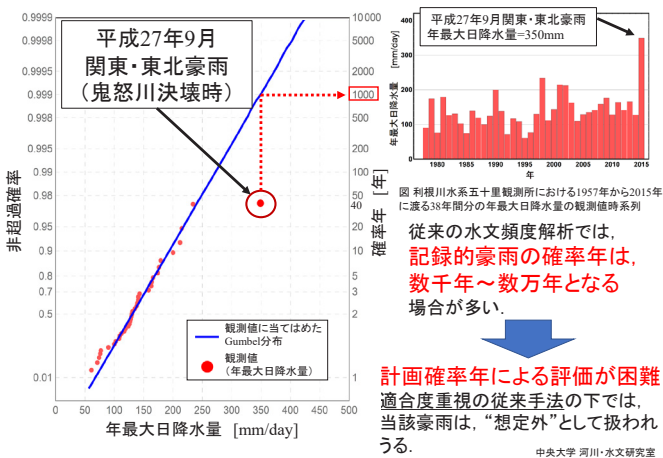


図15 従来の水文頻度解析が有する困難点

前述の通り、統計学を真面目に使えば、60年程度の観測データの中での記録破りですので、「40～50年確率」が正しい捉え方であり、決して1000年に1度の雨ではありません。ダムと堤防だけで守ろうとすれば、治水計画の抜本的な見直しが必要となり、事業規模も過大になってしまいます。そこで私が提案しているのは、「計画は変えない」ということです。例えば150～200年程度の確率であれば、今までの計画の中で対応し、オーバーする部分についてはソフト対策や都市計画の中で被害の最小化を図るということを考えています。

5.2 地球温暖化がもたらす影響

図16は、将来気温が2℃又は4℃上昇した場合の確率雨量で、

青い線が今までの線、橙色が2℃上昇の線です。スーパーコンピュータで初期条件を少しだけ変え、100年先までを5000回計算した結果（d4PDF）を使用しています。産業革命以降、既に1℃上昇しているのに、現在から1℃上昇した場合のグラフで期待値、信頼区間、予測区間をそれぞれ示しています。

令和元年台風第19号のCバンドレーダによる観測値（流域平均72時間雨量294.27mm）は、200年確率降雨量において、過去気候と各気温上昇結果が表す将来気候における予測区間が重複する範囲にある。過去気候では、台風第19号の観測値は、200年確率雨量の期待値近傍の値となる一方、将来気候（+2℃、+4℃上昇実験）では、台風第19号の観測値を超過する雨量の生起確率が增加する。

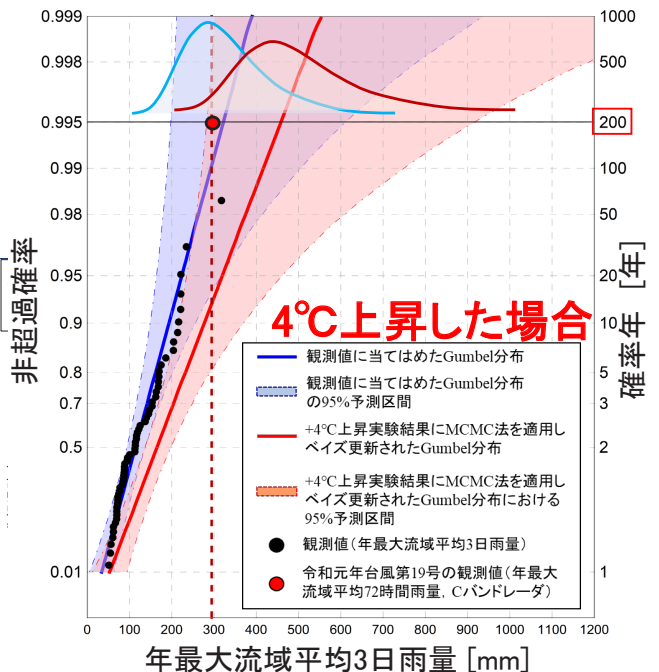
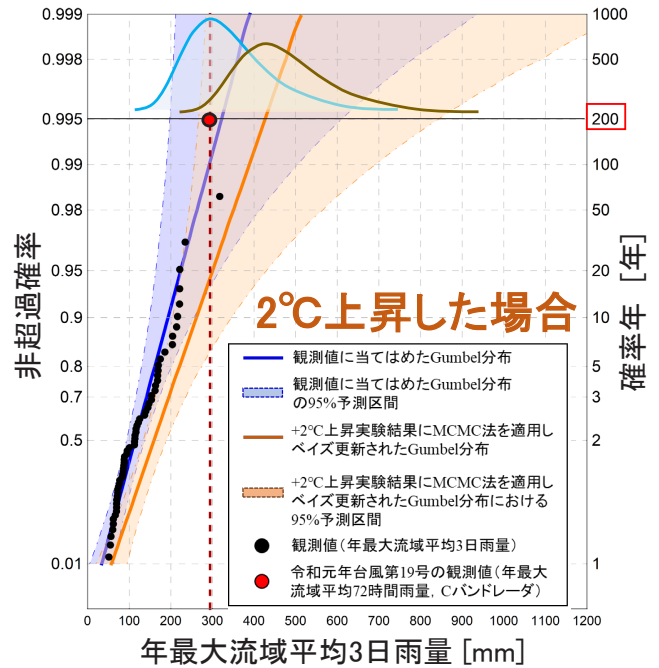


図16 予測区間による台風第19号の確率評価

国土交通省では施設の整備目標として「2℃上昇」を想定していますが、実際には「4℃上昇」も想定すべきだと考えます。そこで「4℃上昇」もシミュレーションしたところ、「より大きな雨が短時間に降る」という予測結果となりました。

6 洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難

次は東京東部の低平地における避難の問題です。江東5区（江東区、江戸川区、墨田区、葛飾区、足立区）には約250万人、江戸川区だけでも約70万人の人が住んでいます。水害時に、約70万人のうち何人が3階以上の高さへと垂直避難できるのかを検証したところ、荒川東部には高層ビルが少なく、約12万人分のスペースしかありませんでした。それも1人に割り当てられるスペースは1平方メートルという想定です。つまり、約50万人は区外に出る必要があります。20年以上前に、旧江戸川に人道橋を作る提案をしたのですが、不況によって立ち消えになりました。今は「命山」という名前で、公園を高台化して一時避難所とする計画となっています。

江東5区(墨田区・江東区・足立区・葛飾区・江戸川区)の大規模水害によって浸水する可能性がある区域において、人口は約250万人いる。

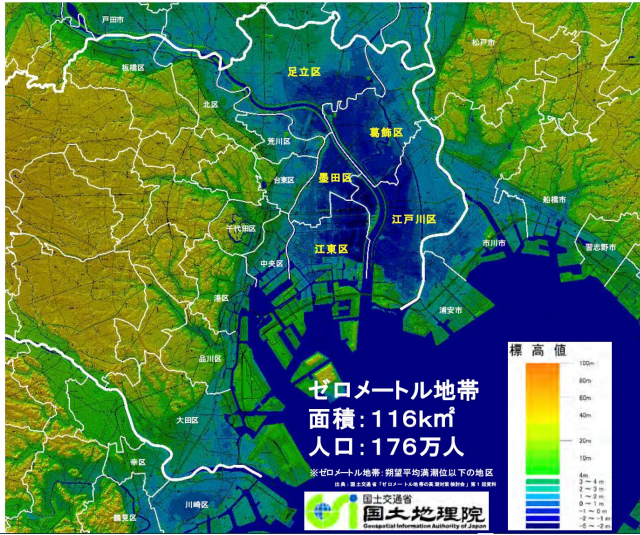


図17 東京の低平地帯-江東5区ゼロメートル地帯

7 洪水時の水文・避難情報が避難行動に及ぼす影響

7.1 住民の防災意識

鬼怒川における洪水災害後、住民に対してアンケート調査を実施しました（図18）。すると、茨城県常総市では住民の6割がハザードマップを「見たことがない」あるいは「知らない」という結果となりました。一方で、京都府福知山市では非常に多くの人々が「見たことがある」と答えています。常総市は江戸時代から考えると多数の浸水が発生しているにもかかわらず、経験が伝承されてないようです。

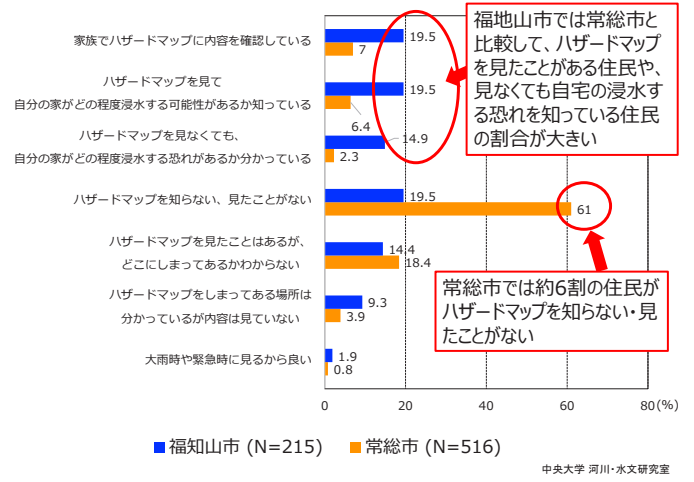
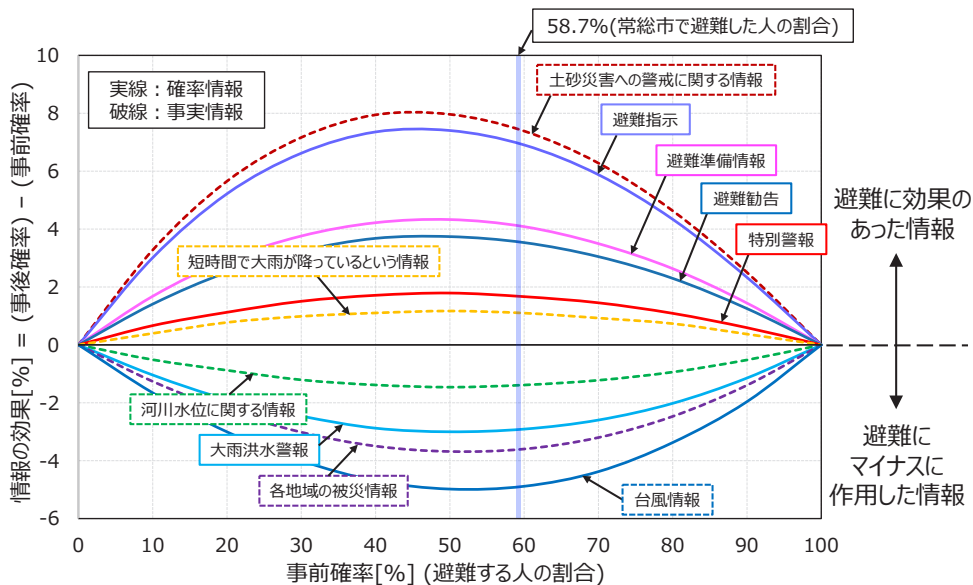


図18 ハザードマップの確認状況

7.2 各種情報が避難行動に及ぼす効果

この調査結果を基に、ベイズ推定を行って情報が避難行動に及ぼした効果を分析しました（図19）。グラフの上半分が避難に効果のあった情報、下半分がマイナスの効果をもたらした情報です。「河川水位に関する情報」が下半分に入った理由を探るためにシミュレーションを行いました（図20）。その結果、



洪水時に発信される情報が避難行動に及ぼす効果を定量的に示すことが可能となった

中央大学 河川・水文研究室

図19 避難に効果のあった情報について

一時避難場所が浸水しやすい場所にあったことや、住民が農業用水路の状況を見て「今度の洪水はこの程度か」と油断したことが要因となっていたようです。また、鬼怒川は上流の川幅が広く、常総市付近の川幅は狭くなっています。余裕のある上流の水位情報を見て「今度の洪水は大したことはない」と判断してしまった可能性もあり、このことから「川ごとに伝え方や情報内容を変える必要がある」と言えます。

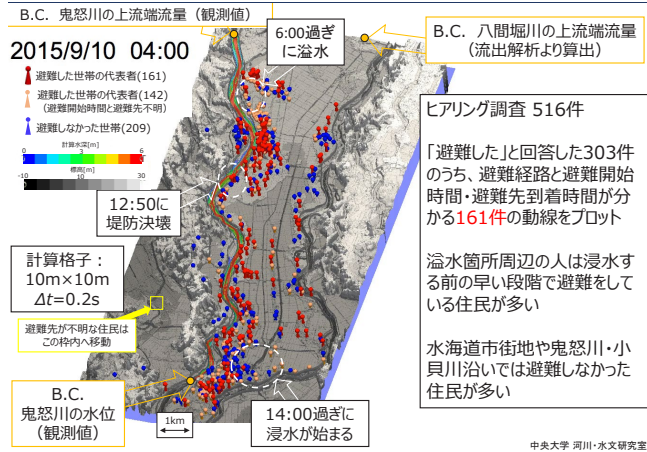


図 20 浸水拡大状況と住民の避難行動

7.3 避難行動の改善に向けて

図 21 に累積避難率の推移を示しています。

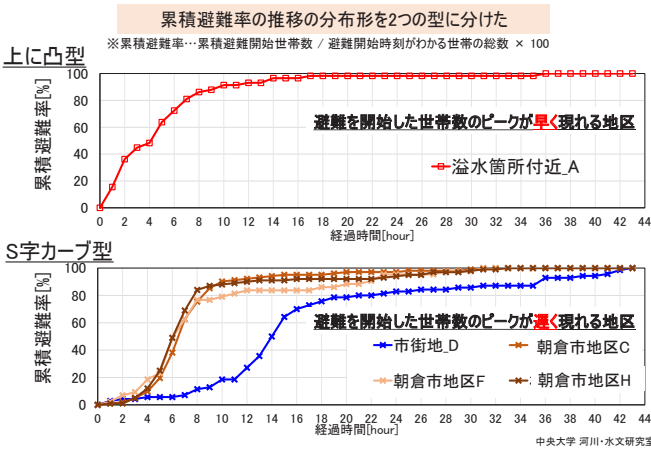


図 21 累積避難率の推移

複数の地域を調査してグラフ化すると、上に凸型の避難パターンと、S字型の避難パターンがあることが分かりました。望ましいパターンは、早くから避難行動をとる凸型です。

「河川水位に関する情報を出したところ、逆に避難しなかった」という調査結果を踏まえた上で、避難パターンを凸型にするにはどうすれば良いのか検討しました。

まず、情報力について2つのモデルを作成しました(図 22)。「運動量モデル」と「応力ひずみモデル」です。結論からお話すると、初期の避難開始速度が重要という結果となりました。最初に避難する人が多ければ、他の人もつられて避難行動を開始する。つまり、初動が肝心だということです。どちらのモデルを用いても結論は同じで、最初の避難効率を良くする

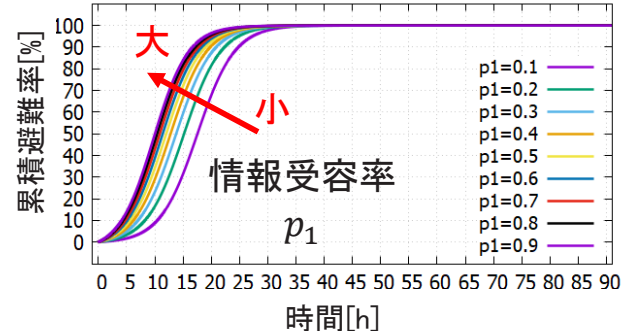
と凸型の避難パターンとなりました。これは裏を返せば、後からどれだけ呼びかけても、住民は簡単には避難行動をとらないということです。

情報力は途中で働かないと考える

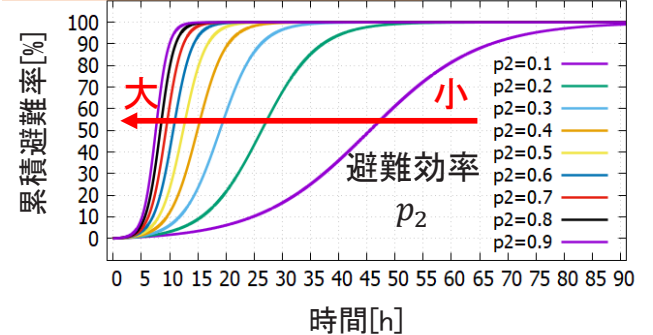
①運動量モデル

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{p_1}{x_{max} - x(t)} \frac{dl(t)}{dt} + p_2 \left(\frac{x_{max} - 2x(t)}{x_{max}} \right) v(t)$$

情報力に関するパラメータ



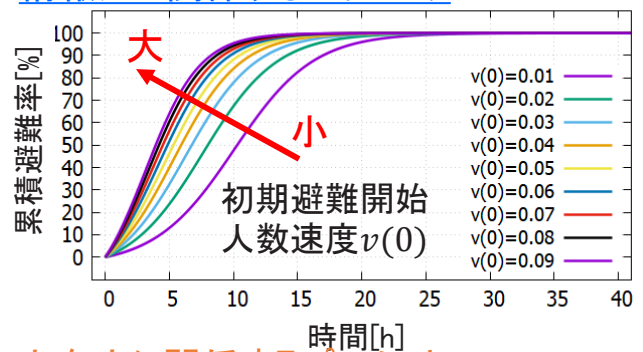
内在力に関するパラメータ



②応力ひずみモデル

$$\frac{dv(t)}{dt} = p \left(\frac{x_{max} - 2x(t)}{x_{max}} \right) v(t)$$

情報力に関するパラメータ



内在力に関するパラメータ

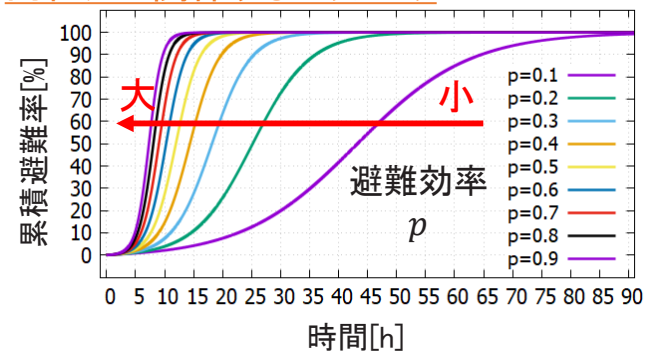


図 22 動力的避難行動解析

8 流域治水への転換（法律改正へ）

前述のように、検討委員会から提言した「流域治水」を、国土交通省も真剣に受け止めたようです。流域全体でハードソフトも、国土交通省の水管理・国土保全局だけでなく、都市局や農林水産省、経済産業省、文部科学省も関与し、自治体とタイアップして協議会、学識経験者、下水道、知事、市町村長、民間事業者、各種行政機関等々を含めて議論をし、それを法的に担保するための法律改正が進み、流域治水協議会を設置する運びとなりました。これまで河川整備計画を作る際には住民の意見を聞くだけでしたが、あらゆるステークホルダーと一緒に、総力戦で臨む形になりました。主に特定都市河川浸水被害対策法を拡大していく方向で進んでいます。（図23）

さらに、利水ダムも有効に使うことが盛り込まれました。事前放流をして洪水に備えるというものですが、難しい点もあります。利水ダムは発電のために常に満々と水を蓄えておきたいものですが、事前放流したものの、もし雨が降らなかった場合は単に水を捨てたこととなります。その損害は誰が補填するのか。法律上補填するのか、予算を組んでおくのか。そこはクリアにしないといけない部分だと思えます。

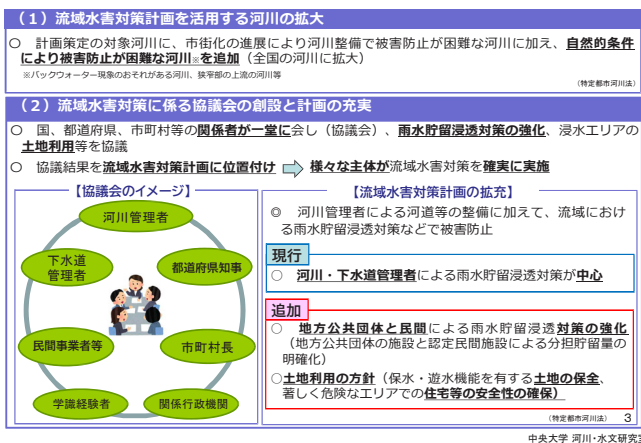


図23 流域治水の計画・体制の強化（特定都市河川法）

また、高台移転を促進するような事業もあります。東日本大震災以降、高台移転が話題となりましたが、なかなか進んでいません。そのことを踏まえて私は、道路の活用を考えるべきかと思っています。新しく高速道路の出入口や良い道路ができると、人は自然とそちらへ移ります。嵩上げをしなくとも、山際に良い道路があればいい。田舎に良い道路ができると、10～20年も経てば人はそこに集まります。土地利用の誘導策としての交通体系も含めて議論すべきではないでしょうか。

9 河川行政への不確実性導入について

9.1 不確実性とは

不確実性とは、英語で言うとアンサーティニティです。色々な定義があるのですが、例えば、雨でも地震でも、確率分布が

分かっているものはアンサーティニティと呼びません。確率が分かっているなら、それは「リスク」です。想定するリスクは計算が可能なので確率統計の分野になります。一方でアンサーティニティは、「何が起きるか全く分からない」というものです。それもさらに2種類に分けられます。まず、不確定性とは、物理的に決まらないようなもの。一方で不確実性とは、物理的にも決まらないし、統計データも少ないもの。例えば流域雨量を考えると、レーダー雨量と地上雨量との間に10～15%程度の偏差が出ます。地上雨量は直径20cmの転倒ます型雨量計で測るのに対して、現状最も細密な国土交通省のXバンドレーダーは250m四方の平均的な雨を測ります。測る対象が異なるので差が出るのです。また、真実の値は絶対に分かりません。不確実性は常にあるということです。そこで我々はどこまで考えるべきか。少なくとも、プロバビリティ（確率）の部分はきちんと入れる必要があり、その上で、期待値のみで考えるのではなく幅を持って考えるべきだと思います。

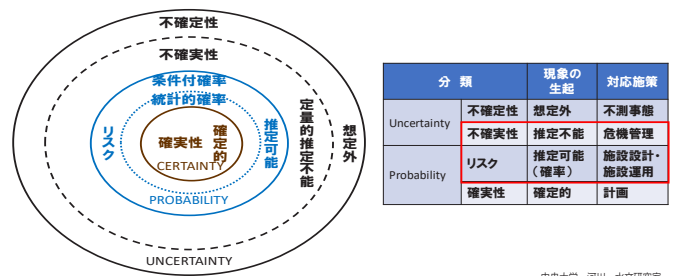


図24 確実性、リスク、不確実性の定義と対象

9.2 不確実性を踏まえたアプローチ

図25は、降雨に一定の不確実性を付与して降雨流出解析を行った結果です。

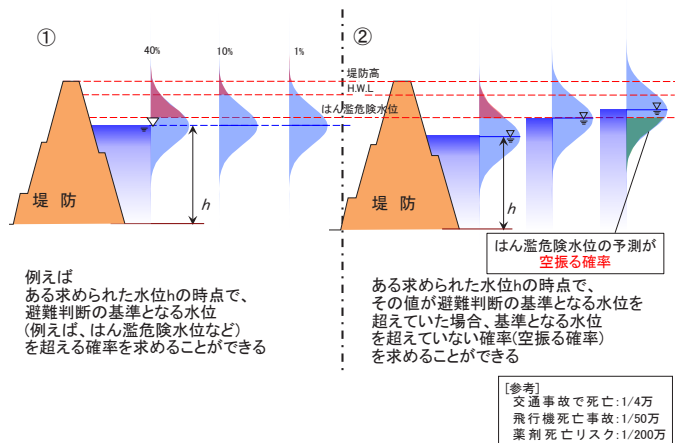


図25 不確実性を踏まえたアプローチ

すると、ある点では「期待値としては堤防天端より低い」という結果が出ます。今までの計画はこれに基づいて行われ、図で示した青い線だけを用いて議論をしてきました。ところが、10～15%の不確実性を盛り込んだ計算を入れると、結果は水位がハイウォーター（計画高水位）を超えたり、堤防天端を超えたりする場合が出てきます。こういった確率水位予報も実施するべきではないでしょうか。決定論で予測すると「ハイウォ

ーターを超えない] という答えが出る。しかし、実際は10%程度の割合でハイウォーターを超える場合がある。それをどう考えればよいのか、という問題が出てきます。

10 今後の課題と展望

先般の国会で危惧したことがあります。今後は流域治水協議会を作り、流域の様々なステークホルダーが集まって計画を立てることになります。では、その計画に則って様々なものが出来上がり、それでも災害が起きた時の責任はどこにあるのかということです。現在は、国家賠償法に基づいて被災した人が裁判を起こし、一級河川なら国が何らかの落ち度があった場合に賠償することになります。一方、米国では、国民はアメリカ陸軍工兵隊に対して訴える権限を持っていません。厳密に言うと、治水事業に関わるアメリカ連邦政府の責任は免責されています。川に付属する運河での災害については訴えが可能ですが、治水事業そのもので訴えられることはありません。では、米国で被害にあった人は泣き寝入りかと言うとそうではなく、連邦水害保険制度というものがあります。対象エリアに土地を購入して住み始めると、強制的に水害保険に加入させられます。長い目で見た場合、日本にも同様の制度を導入する必要があるのではないのでしょうか。逐一「どこに瑕疵があったのか」を議論するのではなく、損害は国の水害保険制度でカバーしてしまい、次の治水計画の中に経験を生かす方策を考える方が、より生産性が高くなると思います。我々河川や土木の専門家は、法律や保険制度も勉強する必要があるのだらうと思います。

アメリカ自然災害史上最大の被害を出したハリケーンカトリーナに関して、州知事や市長等が「避難指示が遅かったのではないかと訴えられています。陸軍工兵隊そのものが訴えられていることはありません。加えて、ニューオリンズはその後の復興事業を経て、全米情報発信量3位にまで立ち上がっています。それはニューオリンズの被災を契機に、大規模な規制緩和を実施したためです。病院の街だと言われるほど医療機関が集まり、ベンチャー企業が集まりやすい仕組みとなりました。結果、被災を契機に景気が良くなっています。そういう経験を我々も生かせるのではないのでしょうか。単なる応急復旧から復旧復興ではなく「ビルドバックベター」、復旧復興を契機に、より良い社会を作ろうという考え方が必要なのではないかと思えます。

質疑応答

【質問者 A】

以前、道路の防災担当をやっておりました。その際、今から思うと線状降水帯のような降雨によって、水あるいは土砂によって犠牲者が出るパターンが多かったように思います。流域治水では、盆地とか平野の安全を図っていくということなんですが、

その間を結び交通は山を越えなきゃいけない。こういうものに対しても、例えば予測の技術あるいは観測の技術で安全に出来るのではないかと思うのですが、道路や交通に関しまして、サジェスションがありますでしょうか。

【山田氏】

関西のある町で過去に洪水被災がありました。山陽道、高速道路が通っており、そこで猛烈な雨が降ったので、高速道路は危ないから一般道に降りなさいと指示したところ、降りたところが氾濫地域で余計大混乱を起こしてしまった事例があります。適切な情報提供あるいはどこで逃がすかという検討は非常に重要だと思います。

平成28年に北海道で大雨が降りました。1週間に台風が3つ北海道に上陸して、十勝平野や日高山脈を中心に川がポロポロになってしまい、札幌から帯広までの鉄道も国道も全部やられて動かなくなり、高速道路だけが唯一の交通手段になりました。高速道路は普通の道よりも技術的基準が高いですよ。単に日頃の交通、物流だけではなく、有事の際の重要物資輸送の手段としても高速道路が無くてはならないと痛感しました。

2015年にK川の堤防が決壊した時に、応急復旧で大きなブロックを持ってきて落とすのですが、一番遠いところは70km上流から運んだと聞きました。でも、近傍の高速道路のどこかにブロックを埋めておけば、すぐに運搬できると思います。T川なんかでも、川の傍にブロックを置いていますが大雨降った時にそんな危険な場所に大型トラックを行かせるのではなく、もうちょっと違うところにブロックヤードを置いておいて、運べるようにするといった使い方もできるんじゃないかと思えます。

【質問者 B】

最後の米国の取り組みのようなリスク対策も含めた計画論を考えていかなくてはいけないものの、法体系を含めてまだまだ検討課題があります。そういう意味では世界各国のリスク対策も含めた計画論のようなものがあるかを教えていただきたいと思えます。

【山田氏】

もう20年以上前にリスク管理という言葉が河川系の中では私が使い始めたんです。そうすると仲間の研究者たちから「山田さんは昔、防衛大学の先生をやったから、なんかきな臭い言



葉好きだよ」と言われました。それはそうです、防衛と防災はほとんど同じです。単に人的攻撃を受けるか、自然から攻撃を受けるかの違いだけで、守り方の共通点はいっぱいあるんですよ。その時にそんな話をしたら、ある人が講演で手あげてくれて、「国土交通省の役人にリスク管理をしろ」という法律はどこにもないんだよ」と発言したんです。例えば水防法を見ても、国交省がとったデータを自治体に伝えるって事はしませんよ。自治体では、そのデータの提供を受けて自分たちが危機管理しなくてはならないと、責任感を持って仕事をしている人がどれだけいるのだろうかと考えます。国交省にいる教え子が、地元へ情報を伝えたいけれども役所の方があんまり真面目に動いてくれなかったと言って、私の所に訴えにきたことがありました。つまり、まだまだ危機管理というようなことに関する国民の意識が弱いと思います。今度のコロナだって、自分がどう動くかっていう自分の工夫よりも、国にあだこうと言う、行政任せの話ばかり聞くように思います。危機管理こそ自治体の最重要課題であるというのが僕の思っているところなんですけど、法的なこととか啓蒙活動とか、やるべきことが沢山あるのではないのでしょうか。

【質問者 C】

カーボンニュートラルについてご意見伺いたいです。例えば電気はそのまま貯めることは出来ませんが、水素やアンモニアに変えれば、余剰電力を蓄積することができます。さきほど流域治水のご説明の中で利水ダムのお話がありましたが、事前放流で余った電力をこのように蓄積できないか。また、ビルドバックベターについても、事前にカーボンという観点でも色々な土木的な計画作りをしていく必要があるのではないかと考えました。まずは、カーボンニュートラルがしっかり定着していくことが大事だと思うのですが、それに合わせて、カーボンの関係でも保険の制度に関する議論が必要じゃないかと思っています。そういう根源的な議論に、どうこの話をつなげていくべきか、お考えがあれば少し教えていただければと思います。

【山田氏】

カーボンニュートラルについては、ある環境省の会議で、日本が出しているCO₂量は世界の3%とから4%なのだから、日本が仮にCO₂ゼロにしたって地球温暖化に与える影響は0.01度だと発言しました。そのためにこんな大騒ぎしてやらなきゃいかんのかって僕はちょっとあえて否定的に言ったんですけども、取り組むのであれば、僕は技術開発に日本の生きる道があるかと思っています。私がこの7、8年提案してるのは、川に木がいっぱい生えていますよね。あれ切ると大変なんですけど、それらに亜臨界水処理というものを施すんです。亜臨界水処理というのは、大きなシリンダーの中に木をチップにして入れて、180度10何気圧ぐらいの水蒸気を入れて20～30分すると、木がみんなポロポロの粉状になるんです。これはそのまま撒けば最低限肥料になるんですよ。台湾ではそこに鶏糞とか牛

糞、それから豚の糞を入れてものすごい高品質の肥料にするんです。だからゴミ集めれば集めるほど、CO₂出さずに良い肥料ができるんですよ。水蒸気作る時に、若干のCO₂を出しますが、川に生えている木そのものを燃やすわけじゃないんですよ。北海道のベンチャービジネスが成功しているのですが、この木のチップを置いておいて、乳酸菌発酵を起こさせたものを、牛のサプリメントにするという取組があります。獣医学部の先生が調べたところによると、これは栄養たっぷりだと言っています。この機器を例えば地方整備局に1台か2台置き、川の木を切ったところでそれに入れて処理すれば、少なくとも河川事業の中でCO₂を減らせるじゃないかと提案しているんですけど、台湾とか中国とかマレーシアはあつという間に買ってくれたのに、日本では全然進みません。その実績があるのかと言われるのです。日本もどんどん新しいことやらないといけません。だからカーボンニュートラルに取り組むにあたっては、IT的な新技術も、ローテクだけど新しい技術っていうのも積極的に取り入れようよと言いたいです。

自治体は事業評価委員会をやって事業評価することになっているので、その中で自治体が新技術をどのくらい取り入れたかっていうのも評価基準に入れたらどうかと提言したことあるんです。私は長い間京都の事業評価委員長を務めていますが、新技術が使われたなんて一回もないんです。もうすべてB/Cだけの話でね。そこにB/Cプラスこういう新技術を使ってみたよとかね。それはカーボンニュートラルに繋がるような新技術でもいいしね。ただ口だけ言っても絶対に誰も新技術を使おうとしないで従来型の技術だけで無難に過ごそうとするのは、人間の性だと思いますよね。さらにもう1回言うとね、この一週間、オランダやアメリカ、中国等で、堤防の新技術ってどのくらいあるんだろうかと思って、集中的に調べてみました。そうするとその国々では色々なことをやっているんですよ。特許の申請もたくさんしている。ところが日本では土堤原則っていうのがあまりにも強すぎて、日本で堤防の技術で特許なんてほとんど出ていません。日本の技術は停滞していると思います。



【質問者 D】

避難率と避難までにかかる時間の話で、上に凸にする必要があるというご指摘がありました。それを成し遂げるにはどんな工夫をすべきなのかお聞かせください。

【山田氏】

初動が大事だということ言いましたね。どんなモデル作っても、初動がよければ上に凸になると。関西のM川が決壊して、T市が水に浸かったときの調査の結果についてお話します。被災した地元の人にお話を聞くと、まず市役所の白い車が来て、標準語で「避難してください」ってゆっくり言うんですって。おじいさんおばあさんは、まず日本語が何を言っているのか分からなかったと。最終的にはその人たちも避難をしたのですが、どうやって避難したのかというと、市役所が警察に依頼して、話してもらったそうです。すると「ああそうか」って皆逃げたということです。こういう工夫も必要かと思います。関西人に、関東弁で役所言葉でゆっくり喋られたら、全然切迫感を感じませんから。「早く逃げんかい」っていうぐらいのことを言わないと普通は動かないですよ。そのためにあんまり難しいこと言ってもダメだと思って、警戒レベルや住民がとるべき行動を啓蒙した上で、「今度はレベル2ですよ」とでも言わないと、避難してくれそうもないと思います。

本内容は2021年5月13日に国土政策研究講演会として収録したものです。

JICEのHPでは、本講演の動画がご覧になれます。

https://www.jice.or.jp/labs/2021_01

