

近年の洪水災害を踏まえた流域治水を考える

THINKING ABOUT BASIN-WIDE FLOOD CONTROL INITIATIVES BASED ON THE RECENT LARGE FLOODS

福岡捷二

Shoji FUKUOKA

フェロー 工博 中央大学研究開発機構 機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日一丁目13-27)

流域治水では、豪雨が、支川群、本川等を含む流域に、いつの時点で、どこに、どれくらいの量がどのような状態で存在しているか、すなわち、流域における降雨流出量の時・空間的な存在分布（水収支分布）を流域における洪水流水面形の観測と解析から明らかにすることにより、全流域レベル、各支川流域レベル、氾濫域レベルで貯留に適した空間を見出し、どのような治水対策が有効かを検討することになる。考えられるメニューは、流域ごとに異なり、また個々のメニューの実現には、技術的、社会的、経済的にみて減災対策として実効性があることが必要である。本文では、本川、支川流域での施策を一体的に評価可能な水面形の観測と解析に基づく流域水収支図の作成とその活用が流域治水の基本であることを強調している。近年の豪雨災害を例に流域の洪水流の形成過程、流域水収支および流出係数の変化等による流域の見える化が、流域を構成する各支川群の流域治水、それらを総合化した全流域の流域治水の検討に有効な技術となることを示し、今後の流域治水の方向性を技術的に論じている。

Key Words: water balance diagram, river basin, flood, water surface profile, observation and analysis

1. はじめに

水災害の激甚化、頻発化が増大しつつある中で、これまで河川管理者が行ってきた河道改修やダム等中心の治水対策から、本川、および支川群、河川の上流から下流の海までの河川流域及び氾濫域において、あらゆる関係者が協働して従来の治水対策に加えて様々な対策に取り組む「流域治水」が全国で進められつつある。「流域治水」とは、流域の用語が示すように、本川、支川群の河道改修と流域における治水対策の両方から構成され、治水の基本的考え方を表すものであり、治水議論では普通に出てくる用語である。

わが国では、昭和50年代に流域の土地開発による流出増の速さに河川整備が追いつかず、都市域での洪水氾濫が深刻な社会問題になった河川流域において、従来の河川改修と合わせて、流域における治水対策を行う総合治水対策治水事業が17河川流域で行われた。鶴見川のように流域対策が効果を上げた河川流域は少なく、多くの総合治水対策河川では、河川改修中心の治水対策が効率的であるという結果となったように思う。その後、「流域治水」が治水政策の中に明確に表れたのは、平成10年国土交通省河川審議会計画部会に「流域治水小委員会」が設置され、従来の河道改修方式では洪水氾濫を防げない河川について、地域の特性に応じた土地利用を含む流域対応の必要性について論じられたときであると思う。総合治水対策河川事業の限界が顕在化したこと、さらに、

従来の河川改修に加え流域対策をすべての河川に組み込んだ検討の必要性が高まったこと等からである。平成12年に中間報告「流域での対応を含む効果的な治水の在り方について」が流域治水小委員会から提言された。この提言は、今日の気候変動に伴う異常洪水、氾濫の発生に対応する「流域治水」政策に比して取り扱う範囲は狭いが、基本とする考え方は、次章の2. に示すように今日の議論とほぼ同様な考え方に根差していた。

2. 平成12年河川審議会「流域治水小委員会」 「流域の対応を含む効果的な治水の在り方について」中間答申

わが国では、治水はダムや築堤、河道改修等によって、流域に降った雨水を川に集めて海まで安全に早く流すことを基本として対策を行ってきた。しかし地域によっては、急激な都市化による土地利用の激変や異常な規模の豪雨により河川改修のみでは限界が顕在化してきた。このため平成12年の河川審議会流域治水小委員会中間答申では、ダム、築堤や河道改修等の通常の河川改修は引きつづき着実に実施することに加えて、

- ・ 輸中提・宅地かさ上げおよび土地利用方策
- ・ 河川と下水道との連携強化
- ・ 貯留施設等による流出抑制対策
- ・ ハザードマップの作成・公表

等の流域対策の導入を提言し、治水対策のメニューの多様化を図った。これによって、治水対策の選択肢を増や

し、地域の河川の特성에応じた効果的な対策を実施することを目指している。

小委員会では流域治水に関わる分野の学識者により活発な議論が行われ、上述の施策が提言された。この中で著者は、流域治水対策が効果的に進むための新しい技術展開の必要性を強調したが、その後の河道と流域対策技術は期待したほど進展して来なかったように思う。今回示された流域治水は、治水を広くとらえ政策上の転換と言われているが、法律と技術が両輪となって政策があることを考えると、両者の関係がしっかり機能する中で「流域治水」が進められなければならない。流域対策を行うことの制度的な難しさはあるものの、確実に政策を実行していくためには、河川管理者が中心となって流域関係者が「流域治水の考え方」を共有し、「考え方」の実現に向けて協働することが不可欠である。

3. 河川計画制度の中での流域治水の位置づけ

流域治水は、気候変動等により強大化、頻発化する豪雨に対して整備が十分でなく、氾濫による被害を避けたい河川が多いことから、流域の防災関係者が協働して流域、地域の治水安全度を高めていくことを目指している。令和3年に特定都市河川浸水被害対策法をはじめとする流域治水関連法の改正によって、氾濫時には水防や避難などのソフト対策中心であったこれまでの災害対応から、災害時の地域・まちづくりの基本となるハード対応への選択の幅を広げ、減災まちづくりに向けた対策への方向性を示したものと考えることができる。この法改正は、河川改修をこれまで以上に加速することに加えて、流域関係者が治水に関わる流域対策を協働で進めることを狙いとしている。これには、流域を構成する本川、支川群の洪水の流下形態、安全度の在り方に加えて、支川流域と流域全体を俯瞰した治水の在り方、進め方が十分検討されなければならない。このような流域治水が、現行の河川計画制度に対してどのような関係にあるのかを論じておくことは重要であると考ええる。

河川計画制度は、完成河道の計画を位置づける河川整備基本方針と完成河道までの改修段階での河川の計画に関する河川整備計画からなり、これらは河川法で位置づけられている。河川整備基本方針河道では、設定された計画高水流量以下の流量に対して洪水流を安全に流せる河道を想定し、長期間にわたって完成河道に向けて整備を行っていく。一方、河川整備計画は、完成河道に向けて河川を整備する改修段階の計画と工事についての手順を示しており、河川は整備途上のため、計画規模内の洪水であっても河川からの洪水氾濫は起こり得ることから、河川整備計画と流域治水は、超過洪水に対する施策の整合性が高く、河川整備計画の中に積極的に流域治水の考えを持ち込むことによって、氾濫被害を小さくすること

が期待される。集水域、河川区域においては、氾濫被害を小さくするために流域治水関連法改正を活かし、本川、支川群で持続的かつ、効率の高い多様な施策を展開することにより、河川の安全性を高めることが期待される。

流域治水では、河川管理者は、河川整備を加速するとともに、その時その時の河川整備状況に対し氾濫情報を的確に捉え、地域づくり、まちづくり関係者とリスクを共有した減災まちづくりを行っていくことになる。また、本川だけでなく支川群も含め一体として、支川流域、流域全体で治水を考え、治水対策の進め方に多様性を持たせることになる。流域治水では、直轄区間、指定区間一体で効果的な治水の検討を行うことから、河川整備計画も国と自治体が一体で検討出来るようにしていくことが望まれる。河川流域には広く複数自治体をまたがって流れている河川が多く、また、それぞれの自治体及び国は、地域との関係で多様な土地利用や河川利用を進めている。流域治水を考えると、流域対策を行うにふさわしい空間もあるであろう。河川管理者は、土地の所有者、利用者に対し流域治水的利用の技術的検討結果を示し、流域治水にふさわしいものかどうかを地域に判断してもらうことになる。この技術的検討の方法については4章で述べている。

流域治水には、支川群の各小流域の治水マネジメント、これらの小流域を統合して流域全体を見た治水マネジメント、そして洪水氾濫が集中する市街地を一つの小流域としてこの地域の安全性を高める地域治水マネジメント等多層的であり、検討手段も多様である。雨の降り方、地形や地質の異なる上流域では、支川ごとに異なる洪水特性を有し、本川にあっては流入する支川群の洪水ハイドログラフの空間的・時間的集中の仕方によって特有の流下形態をとりながら中・下流域を流下する。したがって、流域治水を適切に進めるには、流域を構成する本川、支川群を一体とした洪水流の観測・解析が必要となる。

また、内水氾濫は外水氾濫と同様に水防活動、避難や減災まちづくりに密接に関係する流域治水の重要課題である。内水氾濫は頻度が高く、住民避難を安全に行えるようにするためには、地域の特性や内水氾濫規模に応じたハザードマップが必要である。さらに内水氾濫に引き続く外水氾濫に対しても一体的に検討できる精度の高い解析モデルが必要である。

4. 支川群と本川の洪水水面形時間変化の観測値を用いた流域治水技術の展開とその活用

本川、および支川群、河川の上流から下流の海まで、しばしば激甚な水災害が起こっている。河川流域のあらゆる関係者が協働して従来の治水対策に加えて様々な対策を取りこむ流域治水をどのように進めていくべきかについては、近年の洪水データの蓄積、観測技術と解析技術の向上等、洪水マネジメント技術の進展によって、方

向性が見えて来ているように思う。

以下の章では、平成27年鬼怒川豪雨、令和2年球磨川豪雨による流域の激甚な洪水災害の調査、本川、支川群の洪水流出の一体解析、それらから得られる流域の水収支構造が流域治水の基本技術となることを示す。

著者らは、これまで洪水時の河道、貯水池等河川における洪水の挙動の観測、特に観測された洪水の水位ハイドログラフから求める縦断水面形の時間変化とそれから得られる流れ場の情報が、河川計画・河川管理を行う上で基本になることを示し¹⁾、これを全国の河川の洪水流に適用し、その有効性を実証して来た²⁾⁶⁾。河道縦・横断面形が観測されている河川において、水位計を多地点に設置し、洪水の水位ハイドログラフを観測することによって洪水水面形の時間変化が求まる。観測された各時間の観測水面形を説明するように洪水流れの運動方程式と、連続方程式を解くことによって、観測区間の任意地点での断面内の流速分布が求まり、これと河道の断面積より任意地点での流量ハイドログラフが求まる。河床変動が大きい河川にあっては、水面形と河床高の時間変化を同時に解くことによって、河床変動の時間変化を含め計画、管理に必要なほぼすべての水理情報が等質に、同時に求まる³⁾⁴⁾。この解析法の適用によって、洪水流の流下機構、洪水氾濫機構を明らかにし、流域治水の整備メニューの選択とその効果を評価する技術を与える。

近年、全国の河川に危機管理型水位計等が設置され、本川のみならず支川群においても水位観測が多点で行われるようになった。これによって洪水時の水面形の時間変化が得られるようになり⁷⁾、雨量観測網の整備と相まって河川流域における洪水の発生から洪水の河道での伝わり方について重要な情報を得ることが可能になって来た。洪水流の観測水面形の時間変化と一致する解析水面形を求めることによって各小流域の洪水流の流下形態がわかり、さらにそれらを統合化することによって流域全体の洪水流下機構を知ることが出来る。すなわち、洪水を引き起こしている流域の豪雨の時空間分布から、各河道やダム貯水池等、どこに、どのような状態でどれくらいの洪水水量が存在しているか等、流域の水収支量の分布を知ることが可能になる⁸⁾。

流域治水で考えられるメニューは、河川流域ごとに異なり、また個々のメニューを実現させる方策には、流域全体としてみるのか、または小流域である地域の減災対策としてみるのかによって異なる。各地域からの流域治水対策の提案は、特に重要である。その理解の上で、流域の地形、地質、地域の人々の住み方、農・林業等土地利用の状況や大洪水時の水面の高さと河道計画上の水面高さとの差等から、対象となる流域の流出抑制のための利用可能空間等、具体的に検討することになる。提案の優先順位は、技術的、経済的、そして社会的にみて実効性が高いことが必要である。このためには、河川管理者は、それぞれの流域で洪水流の流下状況、水収支

分布等を評価し、これらに基づいて科学的、工学的に検討し、それを地域の流域協議会等で十分議論していくことになる。

5. 豪雨に伴う流域における水収支分布算定法

(1) 本・支川河道の洪水流の水収支分布

4章で述べた流域の水収支の時空間分布の算定法を以下に示す。解析の考え方は、流域の本川、支川群の河道沿いに危機管理型水位計を含む多数の水位計を設置することによって、洪水時の各河道の水位の時・空間分布を密に観測し、縦断水面形の時間変化を解析モデルで説明し、得られる流れ場から河道の貯留量の時間分布を求める。これを流域全体の河川群に広げることによって、河道の水収支の時空間分布を得る。

今日の精度の高い観測技術と解析技術を用いて得られる流域の水収支分布は、工学的に信頼性が高く、以下の方法で貯留量分布を得る。

河道の洪水流の貯留量 S_{river} は、式(1)で与えられる。

$$\frac{dS_{river}}{dt} = Q_{in}(x) - Q_{out}(x + \Delta x) \quad (1)$$

ここに、 S_{river} は、対象河川において Δx 離れた二つの断面間の洪水貯留量(m^3)、 Q_{in} は、上流断面からの流入流量とこの河川区間に流入する支川の流量の合流量であり、 Q_{out} は、下流断面からの流出流量(m^3/s)である。洪水前の河道の実測縦・横断面形を与え、洪水流の平面二次元解析法⁹⁾または準三次元解析法(Q3D-FEBS法)⁹⁾を用い、各時間の実測水面形を説明するように解くことによって各断面の流速分布を求め、これとあらかじめ求めている河道断面積から流量ハイドログラフ Q_{in} と Q_{out} を求める。式(1)より時間積分で河道貯留量 S_{river} を求める。対象とする河川の全区間の洪水水面形とそれに対する流速分布の時間変化が求められているので、対象河川の全区間での河道貯留量 S_{river} を計算できる。

(2) 流域の水収支分布

流域に降った雨量と、ダムや遊水地等で洪水調節した貯水容量の時間変化、式(1)で求めた河道貯留量の時間変化がわかれば、流域の水収支の時間分布は式(2)により求まる。

$$\frac{dS_{river}}{dt} + \frac{dS_{dam}}{dt} + \frac{dS_{basin}}{dt} = \frac{A \cdot R}{3.6} - Q_{out} \quad (2)$$

ここに、 A は流域面積(km^2)、 R は流域に降った雨量(mm/hr)、 S_{dam} はダムや遊水地等の洪水調節施設の貯水量(m^3)、 S_{basin} はその時刻において河川やダムに流入しておらず流域で貯留している水量(m^3)である。式(2)の dS_{basin}/dt は、直接計測できないため、後述する鬼怒川や球磨川の研究では、式(2)のそれ以外の項から逆推定している。 Q_{out} は、流域の本川対象区間の流末から出ていく

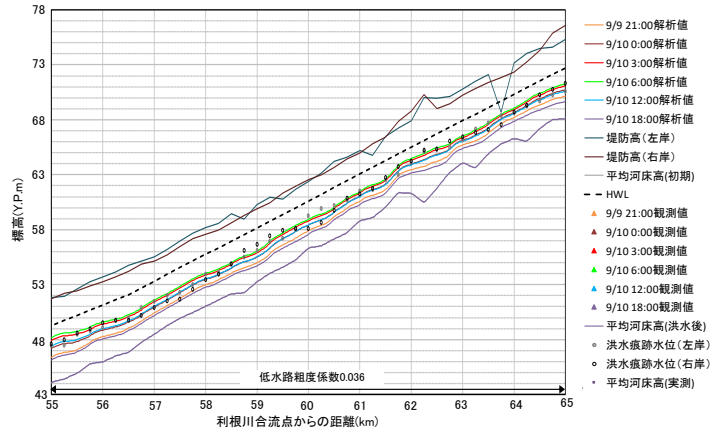
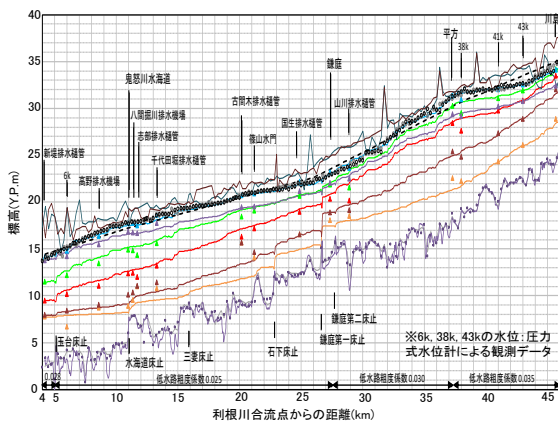


図-1 鬼怒川下流区間 (4.25~46k) , 中流区間 (55~65k) の洪水水面形時間変化の観測値と解析値

流量である。

水収支の他の推定方法として、気象モデルに基づき降雨量分布を推算し、流出解析モデルを介して土中に浸透する量と洪水流量を推定するものもある。この方法を現地に適用する技術的信頼性は未だ十分でないようである。しかし、いずれ信頼性の高い気象モデルや流出モデルが利用可能になった際には、ここで述べた一次支川や二次支川で測られた水位や流量等の観測値や解析値が、気象モデルの適用性検討、比較検証データとしても貴重な情報を与えることになる。

それぞれの小流域に降った雨量の時間分布や、洪水水面形の時間分布等が測られていれば、式(1)、(2)を各支川や本川の区間ごとに適用することにより、対象小流域の水収支分布を詳細に知ることができ、それぞれの流域や河道区間の状況に応じて実施する治水対策の検討を行うことが可能となる。地上での降雨量と水位観測データから貯留量を推算する式(1)、(2)は、測られたデータを直接使うことから水収支解析の信頼度は高いと言える。

6. 近年の災害を踏まえた流域治水を考える

(1) 平成27年9月鬼怒川洪水から分かったこと⁴⁾

図-1は、平成27年9月鬼怒川の4.25~46k区間洪水の水面形の時間変化の観測値と準三次元洪水解析による水面形の時間変化を示す。河道の縦横断面形の複雑さのために水面は河床面と平行にならず、大きなうねり状を示している。鬼怒川の特徴である河道縦・横断面形の大きな変化や樹木密生、堤防決壊及び溢水を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析モデルを構築し、観測された洪水水面形の時間変化を説明するように、河道内の流れと堤防決壊及び溢水による氾濫水量を同時解析した。図-1より、準三次元解析による各時間の解析水面形は良く観測水面形を説明していることが分かる。図-2には、本洪水に対する解析水面形を用い5章で示した方法により求めた河道を含む各治水施設による貯留量と氾濫水量等の水

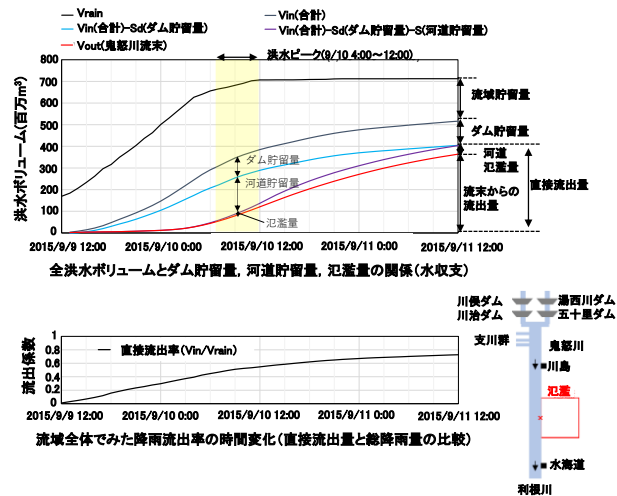


図-2 鬼怒川流域における豪雨時の水収支分布と流出係数の変化

収支分布と、流域に降った豪雨の河道への時間流出の割合を流出係数の時間変化で示している。解析より4ダムでの貯留量は、1.5億 m^3 、河道の上流部 (101.5k~ダム下流 (県管理区間)) 中流部 (45k~101.5k (直轄区間)) 下流部 (4.25~46.0k) 区間における平成27年9月洪水での貯留量は約1.0億 m^3 に達した。この時の溢水と堤防決壊による常総市での氾濫ボリュームは合計で約0.4億 m^3 に及んだ。このように、豪雨量分布に対するダムや河道での貯留量の時間分布が明らかとなり、下流河道の決壊による洪水氾濫が発生するまでの時間帯に約0.9億 m^3 の水量が鬼怒川上流4ダム貯水池に貯められ、河道貯留量と一体的に下流での氾濫量を減じる役割を果たした。

しかしながら、本洪水の発生で明らかになったことは、図-1左図の下流部水面形が示すように鬼怒川では流下能力が不足し、洪水は長区間、長時間にわたりHWLを超えて流れている。一方において、図-1右図に示す中流部では洪水流は高水敷にも乗らず、河道は十分余裕をもった水位で流れており、流過能力バランスの崩れた河道状況を呈していたことである。このように水面形の観測より、流域での洪水流下形態、水収支分布の状況が

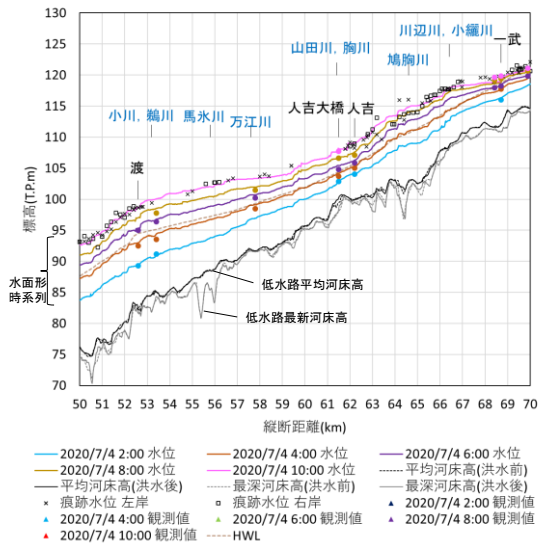


図-3 球磨川洪水水面形の時間変化の解析値と観測値の比較

よくわかることにより、鬼怒川流域の流域治水上の課題を見ることができる。

(2) 令和2年7月球磨川洪水から分かったこと⁹⁾

令和2年7月豪雨による球磨川洪水は、計画高水流量を大幅に超える大流量が流下し、人吉盆地市街地とその下流の山間狭隘区間集落群に劇甚な被害をもたらした。このような大規模氾濫が発生した球磨川においては、大洪水の流下氾濫機構の解明とこれに基づく人命や家屋等の損傷要因を明らかにすることが特に重要である。

図-3は、球磨川豪雨での洪水流と氾濫流、河床変動の一体解析による水面形時間変化の解析結果を示す。流域に降った雨は、多数の支川が人吉盆地に集中する地形特性のゆえに、巨大な洪水流が人吉市を襲った。球磨川洪水流と人吉盆地市街地の氾濫流が一体的に流れることにより、縦断方向への流水断面積が大きく変化し、水面形は鬼怒川同様うねり状を呈している。非静水圧準三次元洪水流解析法(Q3D-FEBS法)は、複断面蛇行河道での洪水流と氾濫流を一体的に解くに適した解析法である。

図-4は、洪水ピーク付近の流れの解析結果であり、このとき、球磨川河道全体が低水路、人吉市街地が高水敷、そして周囲の丘陵や山地が堤防となる激しい複断面蛇行流れの状況を呈している⁹⁾。

Q3D-FEBS法による令和2年の球磨川洪水氾濫流の水面形解析結果を用いて求めた球磨川流域の水収支分布を図-5に示す。大流量が河道を流れたために河道貯留量が非常に大きくなっている。図中に洪水期間中の流出係数の変化も示している。このような水収支分布図は、本川のみならず、支川群においても水面形の観測から作ることが出来、支川流域の流域治水を検討する上で基礎的情報を与える。特に、支川の水収支分布図は、小流域の土砂収支分布に関係することから、今後、流域の土砂収支を考えるうえで水収支の理解が重要となる。

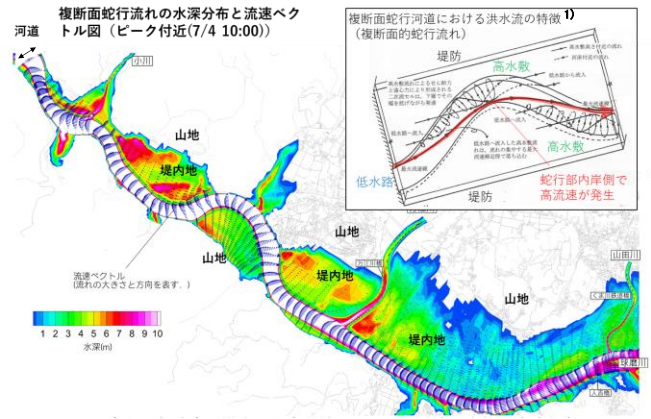


図-4 準三次元洪水流解析モデルにより表現される球磨川(渡～人吉付近)の洪水・氾濫流況

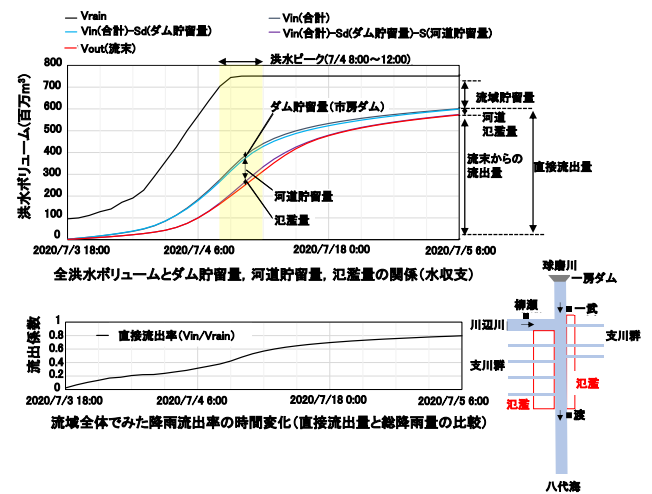


図-5 球磨川流域における豪雨時の水収支分布と流出係数の変化

大災害を受けた球磨川河道は、段階的に改修していくことになる。河川管理者は、Q3D-FEBS法等により改修の必要箇所を照査し、洪水規模に応じた段階的河川改修により、沿川地域の浸水状況の変化を明らかにし、リスクを明示した多段階の浸水想定図を作成する。まちづくり、地域づくり関係者は河川管理者とともに、この多段階リスク明示型浸水想定図情報に基づいて、氾濫リスクに応じた減災まちづくりの検討を行い、堤内地の安全度を計画的に順次高めていくことになる。

(3) 流域治水の各種対策を踏まえた水収支分布の活用

水収支分布図は、本川、支川流域において、流域内貯留に適した空間を見出し、河川、ダム、流域で考えられる流域治水対策メニューについて、対策前後での水収支分布図の変化や検討地点の水位、流量の時間変化を見える化し、効果的な対策とすることに使われる。図-6は、一例として流域治水対策の実施前と高度なダム運用や田んぼダム等の流域対策を実施した場合の水収支分布の変化とこれに伴う下流地点の流量ハイドログラフの変化の

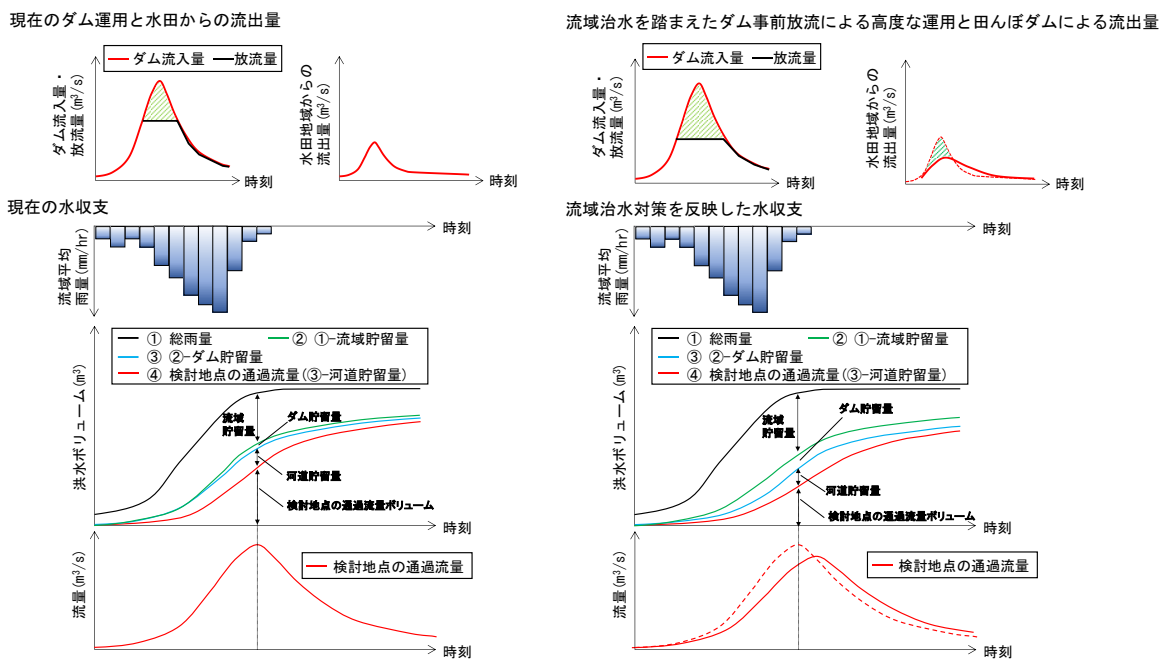


図6 流域での治水対策による流域水収支分布の変化と下流地点の洪水流量ハイドログラフの変化のイメージ

イメージを示し比較している。田んぼダムは、各支川や氾濫域の適切な場所に実施することによって、各支川流域の治水効果を高めるとともに、流域全体での田んぼダム貯留量の総合化が下流域の氾濫被害軽減にも効果があることが期待される。効果の高い対策とは、ダム貯留量、流域貯留量、河道貯留量を増大させ、洪水ピークまでに検討地点の河川分担量を減少させること、ピーク水位や流量を低減させることである。

7. まとめ

- (1) 流域治水に必要なことは信頼性の高い洪水流の観測データと本川・支川群の河道測量データの収集とその河川の洪水特性を表現できる解析法を用いることである。
- (2) 洪水流の水面形の観測と解析は、種々のスケールの流域内の時空間的な水収支状況を見える化し、流域で水をためる空間等必要な流域治水対策メニューを見出す技術的検討の基盤を与える。
- (3) それぞれの流域スケールにおける段階的な洪水防御計画の下に各段階の河川の治水効果、氾濫リスクの評価を行いながら減災地域づくり、まちづくりに生きる流域治水を進めることが今後の重要な課題である。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，pp. 60-83，2004。
- 2) 福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河

川の維持管理技術，河川技術論文集，第12巻，pp. 1-6，2006。

- 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値と洪水流ー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，田端幸輔，出口桂輔：平成27年9月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力，河道貯留及び河道安定性の検討，河川技術論文集，第22巻，pp. 373-378，2016。
- 5) 福岡捷二：洪水流の水位と流量の今日的考え方ー多点で観測された洪水水位と水面形から河道の水理システムを見える化するー，土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, I_355-I_360, 2017。
- 6) 福岡捷二：洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて，河川技術論文集，第23巻，pp. 251-256，2017。
- 7) 見上哲章，水草浩一，西澤洋行，安達孝実，福岡捷二：利根川上流域の本・支川を一体とした洪水流解析ー流域治水への活用に向けて，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.77, No.2, I_427-I_432, 2021。
- 8) 竹村吉晴，福岡捷二：波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS)，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019。
- 9) 田端幸輔，後藤岳久，竹村吉晴，酒匂一樹，福岡捷二：令和2年7月球磨川豪雨における洪水流と氾濫流の一体解析による人吉市街地と狹隘区間の集落の被害分析，河川技術論文集，第27巻，pp. 597-602，2021。

(2022. 3. 25受付)