

オーガナイズドセッション

「多地点・多量の観測情報を有効に活用する新しい河川技術」記録

2016年6月15日(金) 15:10~17:45

オーガナイザー：株式会社東京建設コンサルタント 環境防災研究所 所長 渡邊 明英
名古屋大学大学院工学研究科 教授 戸田 祐嗣

主旨説明

株式会社東京建設コンサルタント 環境防災研究所 所長 渡邊 明英

- 今回の河川シンポジウムでは特定課題1ということで“多地点多量の観測情報を有効に活用する新しい河川技術”という題名で論文を募集した。
- これまでも観測や解析技術に関して色々やってきたが、十分議論を活かしきれていないであろうこと、また様々な情報を取得でき、それをリアルタイムで転送・通信できるようになってきたという背景を踏まえ、そういった情報を活用するにはどうしたらいいかという議論をしたい。
- 従来の水理解析や河川計画の考え方では、基準観測点における流量や雨量もしくは水位を測って、空間的に粗い情報から水理解析や計画を行ってきたという背景がある。一方で水害被害の軽減に向け、詳細な水理情報の分布や時間変化をリアルタイムで公表する仕組みが求められており、従来の水理解析と求められている情報に、技術的なギャップが生じている。
- 計測に関しては XRAIN による降雨観測や、LP・グリーンレーザ・UAV 等による面的な測量、マルチビームや 3D ソナー等による水面下の地形情報、ADCP 等による流速観測など、密な情報が得られるようになってきている。植生についても従来は植生調査や航空写真といったもので確認していたが最近では LP とか ALB で高さの他に密度みたいなものも分かるようになってきた。
- 水位観測計についても、水位計を密に設置し、時間間隔を密に計測することによって大量の情報を得ることが出来るようになってきており、取得可能な情報が高度化している中で、我々はそれを活用できているのか、活用するためにはどうしていくべきなのかを議論したい。

<p>1. 多点計測の意義と議論すべき点について</p> <p>a) 主旨説明</p> <ul style="list-style-type: none">■従来の水理解析：雨量観測所・基準観測点における雨量、流量、水位、河川横断面 etc.■要求される情報：詳細な水理情報の空間的な分布や時間変化状況の把握と公表 <p>(背景)計測対象に対する計測方法の進化について</p> <table border="0"><tr><td>例)雨量：地点雨量</td><td>==> XRAIN (Xband-MP and C-band)</td></tr><tr><td>地形：定期横断測量</td><td>==> LP, ALB, SfM(UAV etc.)</td></tr><tr><td></td><td>水中(マルチビーム, ALB, 3Dソナー)</td></tr><tr><td>植生：植生調査</td><td>==> LP, ALB</td></tr><tr><td>水位：観測所</td><td>==> 多点簡易水位計</td></tr></table>	例)雨量：地点雨量	==> XRAIN (Xband-MP and C-band)	地形：定期横断測量	==> LP, ALB, SfM(UAV etc.)		水中(マルチビーム, ALB, 3Dソナー)	植生：植生調査	==> LP, ALB	水位：観測所	==> 多点簡易水位計	<p>1. 多点計測の意義と議論すべき点について</p> <p>a) 主旨説明</p> <ul style="list-style-type: none">■取得可能な情報の高度化・高密度化<ul style="list-style-type: none">●レーダー雨量や多点水位情報●UAVを含む航空測量によるLP/LiDar/SfMによる地形・植生の計測データ●画像計測やADCPなどによる詳細な流速横断分布等■多地点・多量の情報を積極的に活用<ul style="list-style-type: none">従来の枠組みを超えた河川技術に発展する可能性のある研究や河川技術の革新に繋がるような萌芽的な研究とは何か？
例)雨量：地点雨量	==> XRAIN (Xband-MP and C-band)										
地形：定期横断測量	==> LP, ALB, SfM(UAV etc.)										
	水中(マルチビーム, ALB, 3Dソナー)										
植生：植生調査	==> LP, ALB										
水位：観測所	==> 多点簡易水位計										

主旨説明 スライド 3, 4

- 昔のやり方は少ない情報量から計算して情報量を増やすというものであったが、今は計算しなくてもたくさん測ることによって情報量は増やすことが出来る。ただし、今現在様々な計測が行われているが、十分に活かしきれていないのではと思われる。多くのデータを計測し縮約や棄却する中で、たくさんの手間やコストが無駄になっている可能性がある。目的に合わせて計測しそこから必要な情報を引き出せば、計算により十分に情報量を増やすことができるのではないかという疑問がある。
- 測定の範囲と必要な精度が目的によって異なるので、それを把握したうえで計測し、有効に活用す

ることが重要である。例えば、流れの計算では平均的な標高が正しければそれでよいのであって細かい凸凹は必要ないことが多い。むしろ小さい凸凹よりも植生の有無や、草丈が重要であって、地形を細かく測量する必要は無い。植生や堤防、工事の管理で必要なら、それに応じてそこだけ細かく計測すればよく、目的と必要な精度に応じて計測技術とか観測方法を使い分けることによって、コストを抑えることができる。

- 今までの水位予測は降雨の観測値や予測値から流量を計算し、最終的に水位に換算するという流れであったが、流量のクオリティチェックが不十分で、予測のフィードバック等には H-Q 換算流量が使われていることが多い。降雨や地形・植生の条件は計測でそれなりに精度向上できるが、ダム等を除けばリアルタイムでの計測が困難な流量の精度向上はすぐには難しく、流量ベースの水位予測では流量精度の問題が常につきまとうことになる。
- 水位をベースにした考え方、例えば相関、重回帰などは、流量の精度にあまり依存しない方法である。ただし、実際にはいろいろと曖昧な仮定をする必要があり、そういった仮定については今なら計測すれば把握することができ、精度向上に繋がるのではと思われる。
- 予測については不等流の特性と、不定流の特性の違いを理解して、それを計算に反映する必要がある。非定常流れの特性というのは基本的にはエネルギー損失の大きい重力場における運動の特性のことを言い、要するに河川の水は基本的に上流側で水量とエネルギーが与えられ、それが重力に従ってエネルギー損失しながら海か湖か池に向かって流れて降りているだけである。そこで決まっているのは、流れの流速とか水深とか水面形であり、流量はその結果として決まっている量である。一方、不等流はこの関係を置き換えて、上流端流量と下流端水位を与えて流速と水面形を逆算する。これにより上流端の流量や下流端の水位与えなくてはならないという固定観念が生じている。
- 基本的には水位を用いれば、粗度係数があつていれば水深と位置エネルギーにより流れは計算できるはずで、それは水位ベースから力学的に推定された流量であって、クオリティチェックされた流量になっているのではと考えられる。
- まとめとして、何のために計測するのか、目的に対して必要な精度になっているか、必要な精度に応じた使い分けが出来ているか、測った情報を有効に使っているか、技術の方向のあるべき姿はなにか、多地点多量の観測データを何にどう使うのか、多地点多量の観測データを活用していくための仕組みは何かということについて今日は議論をしていきたい。
- 特定課題に関しては、河川計画のあるべき姿としての計画論の福岡先生の論文が 1 編、地形や水位、降雨の観測に関するものが 12 編、データ同化やリアルタイム予測に関する論文が 7 編あった。これを踏まえ、この後福岡先生の基調講演と、投稿論文からの話題提供に移りたい。

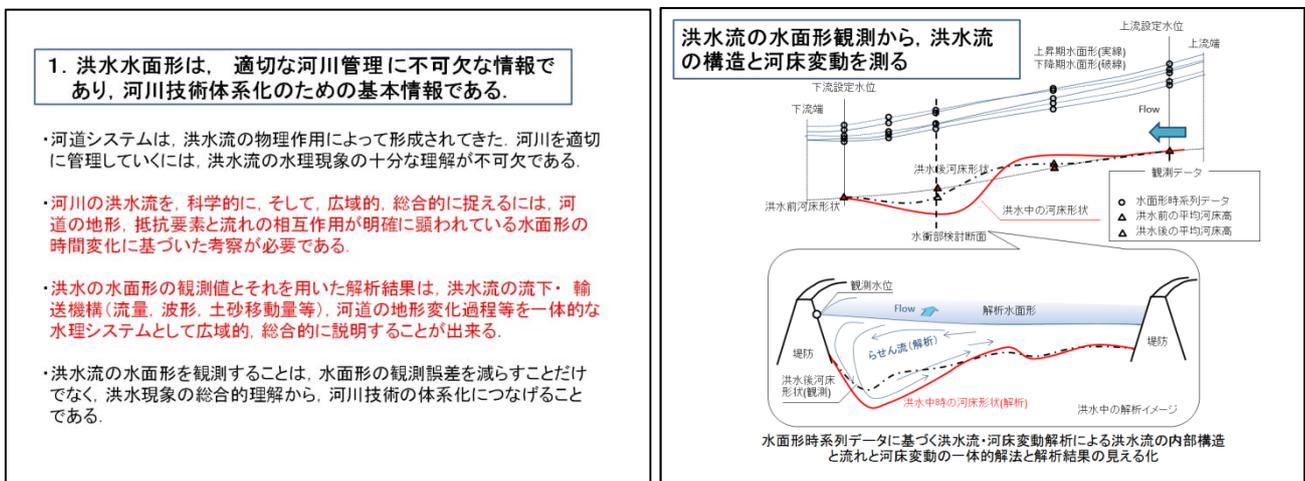
<h3 style="background-color: #92d050; padding: 5px;">1. 多点計測の意義と議論すべき点について</h3> <p>a) 主旨説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ■従来の水理解析: 雨量観測所・基準観測点における雨量, 流量, 水位, 河川横断面 etc. 空間的に粗い観測情報=>水理解析や予測・計画 ■要求される情報: 詳細な水理情報の空間的な分布や時間変化状況の把握と公表 <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>(背景)計測対象に対する計測方法の進化について</p> <p>例)雨量: 地点雨量 ==> XRAIN (Xband-MP and C-band)</p> <p>地形: 定期横断面測量 ==> LP, ALB, SIM(UAV etc.) 水中(マルチビーム, ALB, 3Dソナー)</p> <p>植生: 植生調査 ==> LP, ALB</p> <p>水位: 観測所 ==> 多点簡易水位計</p> </div>	<h3 style="background-color: #92d050; padding: 5px;">2. 課題と議論の対象について(まとめ)</h3> <p><乖離はないか?></p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測の目的は何か? ・目的に対する必要な精度は何か? ・必要な精度に応じて計測技術が使分けられているか? ・取得した多地点・多量の観測情報を有効に活用できているか? <p><技術の方向性のあるべき姿とは何か?></p> <ul style="list-style-type: none"> ・多地点・多量の観測情報を何にどう使うのか? ・多地点・多量の観測情報を有効活用するための仕組みは何か?
---	---

基調講演

「洪水縦断水面形の活用から期待される流域総合河川計画の展開」

中央大学研究開発機構 教授 福岡 捷二

- 流域総合河川計画とは、流域から見て河川がどうあってほしいのか、河川から見て流域がどうでなければならないかという2つの観点をうまく整合させて答えを出していこうとするもので、今後、気候変動の影響が大きくなる中で、検討されなければならない考え方である。
- 川と流域の適切な関係を見出していく上で洪水水面形は適切な河川管理に不可欠な情報であり河川技術体系化のための基本情報である。水面形という広がりをもった水理現象を考えることで河川の流れを細部にわたって議論でき、これにより治水・環境等の河川技術の体系化が可能となる。
- 河川の洪水量を科学的に、そして広域的・総合的に捉えるには河道の地形や抵抗要素といった流れの総合作用が明確に表れ出る水面形をうまく使い、水面形の時空間変化に基づいて考察することが必要である。
- 洪水の水面形の観測値とそれをを用いた解析結果は、洪水流の流下、運動量や土砂の輸送、その結果生じる河道の地形変化過程等を一体的な水理システムとして広域的・総合的に説明することができる。洪水現象の総合的理解は河川技術の体系化につながるものであり、着実にを進めていくべき研究テーマである。
- 洪水水面形の重要性に関する現地河川での調査研究としては、1981年の石狩川における洪水流と河床変動の観測、1986年建設省土木研究所河川研究室による涸沼川の水面形や流砂量・流量の観測、1987年10月台風19号の際の円山川の水面形観測等がさきがけといえる。
- その後、関東地方整備局において「洪水流の非線形研究会」が組織され、利根川、荒川、江戸川、多摩川で洪水流の水面形観測が実施され、河道貯留について集中的な調査が行われた。
- 2001年9月には、江戸川で大洪水が発生し、標尺につけた水位計を双眼鏡で読みとることにより3日間の水面形観測が実施された。この観測結果を基に、水面形を活用すれば非定常二次元解析から流量ハイドログラフや河道の貯留量を算出できることが、福岡らの2004年の論文で示された。
- これらの経緯を受け、平成24年には河川砂防技術基準調査編が大幅に改定され、水位計を多点に設置し洪水流の水面形観測を行うことによって観測値から洪水流量ハイドログラフ含む洪水流の基本的な情報が得られることが明記された。



基調講演 スライド3,8

- 河川の水面形の観測・解析は、河川技術の体系化とともに、基礎を構成する開水路の水理学が河川技術の応用問題に接続することが期待できる。また、水面形の観測と解析は流量管理から水位管理の時代へと入っていくことを示している。河川と流域の洪水時の水の動きを都市の川の下水道排水系の流れも含めて見える化できれば、住民にわかりやすく洪水情報を伝えることができる。
- 今までは、流れ下る川と貯めこむダムという仕分けで議論されてきたが、流域全体の治水を考えるとこれからは河川流域によっては川もゆっくり流れながら貯留する施設であるとも必要である。
- 堤防が決壊するのは水位が H.W.L よりも高い場合が多いが、低い場合も起こり得る。堤防破壊リスクの評価を流域総合河川計画の中で考えることで洪水水害リスクの本格的な検討が可能となる。
- 洪水水面形に着目し適切な解析法を用いて現象を解くことで、河川環境問題についても新しい展開が可能となる。スケールの大きな水理現象は一次元、準二次元、非常にローカルな現象は非静水圧の準三次元で解くなど解析ツールは充実しているが、いずれを用いた解析法も水面形を満足している解であることが解析精度の向上に重要である。
- 水面形は全体のエネルギーレベルを決めていて、それによって水深や流量などの諸量が決まっている。水面形を把握できれば河川における大きな流れの現象から、生物の生育場のような小規模な流れが関係する現象まで議論することができる。
- 巨石付き盛土砂州の設計事例でも見られるように、どこに、どのような構造で作るのが望ましいかは、検討区間の上下流の洪水水面形を見ながら決める必要がある。

3. 河川技術の体系化のながれ

開水路の水理学 → 基礎と応用の接続 → **洪水時の水面形の観測、解析と管理への活用** → 基礎と応用の接続 → **河川技術**

・ 学術の活性化 ・ 技術の体系化

観測、解析より洪水流の見える化

- ・ 河川砂防技術基調査編の改訂
- ・ 洪水流の現地観測技術と解析技術の進化

流域総合河川計画

- ・ 流量管理から水位管理へ
- ・ 河川と流域の洪水時の水の動きの見える化による住民の洪水理解増進
- ・ ダム群と河道の適正な水量配分
- ・ 堤防破壊リスクの評価
- ・ 流域水害リスクの軽減

河川施設の適正な活用

- ・ 洪水流と河床変動の一体解析
- ・ 総合的(治水、利水、環境)の整備と保全)な河川管理
- ・ 治水と環境の調和

・ 鬼怒川の洪水とその検証
・ 豪雨排水システムとして、神田川と神田川流域の下水道の一体的整備

巨石付き盛土砂州(常願寺川 11.7km付近)
治水と環境の調和した河岸防護施設(土木学会 技術賞 I 2015年度)

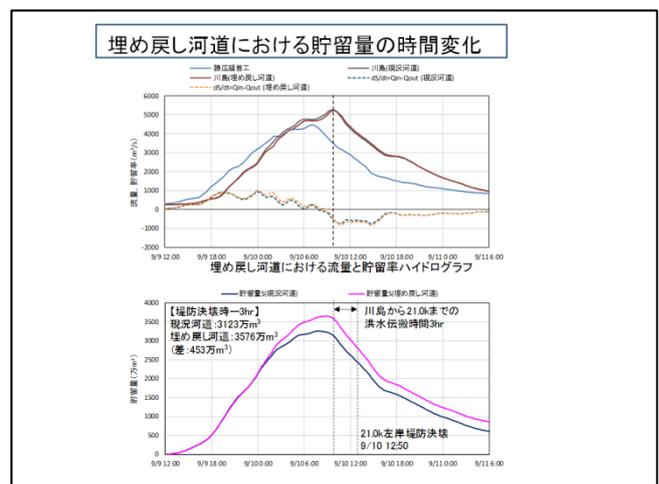
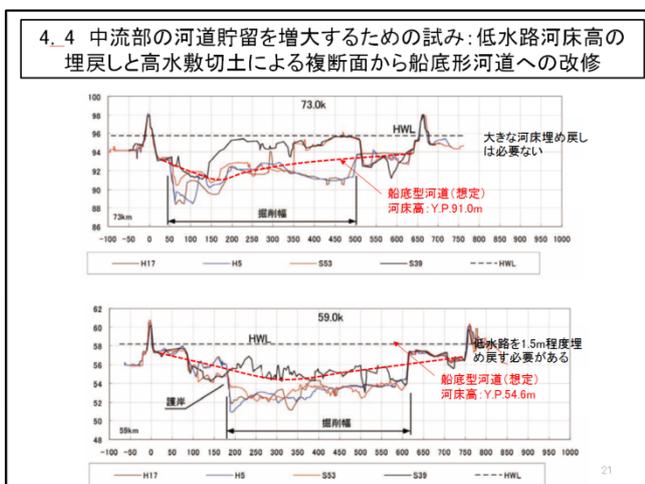
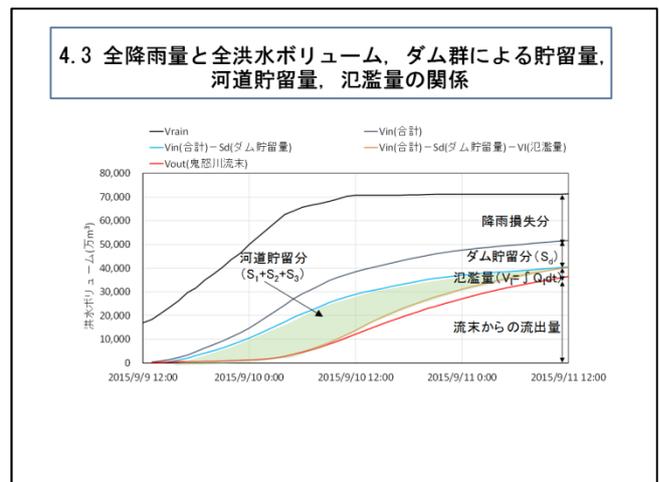
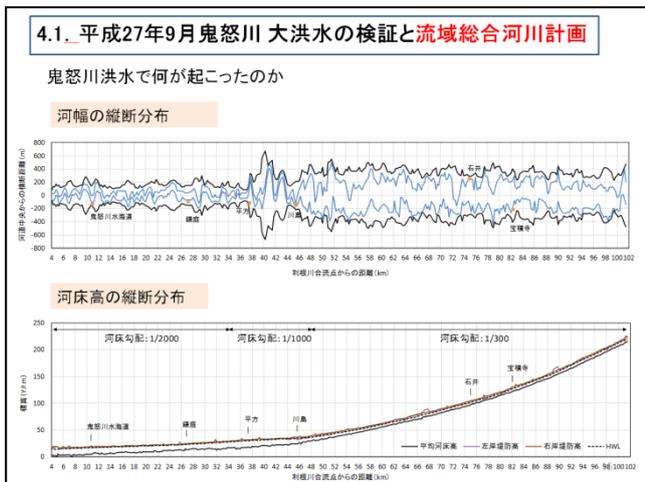
巨石付き盛土砂州

Flow

基調講演 スライド 10, 14

- 治水施設の適正な水量配分の実現には、川の線形や縦横断形について、これまで考えられてこなかった。河道での洪水流の貯留の考え方が必要である。
- 鬼怒川は上流の川幅が広く治水安全度が高いのに対して、下流は狭く、多くの人が住んでいるため、集中的に治水事業が進められてきた。その上鬼怒川下流部は緩勾配であるため、平成 27 年 9 月洪水では下流部で堤防の溢水・決壊が生じたのに対して、河床低下の進んだ中流部では低水路満杯で洪水が流下した。このため、中流部の霞堤に洪水が入らなかった。これでは、河川が持っている治水ポテンシャルを十分使っていない。
- 鬼怒川洪水の水面形は、時空間ごとに傾向が異なる。これは断面形が縦断的に大きく変化していることを意味する。このような流れ方が把握された時に、中流部では下流河道に対してどのようなことを実行する必要があるかが検討できる。

- 2015年9月の鬼怒川洪水の全降雨量と全洪水ボリューム、ダム群および河道による貯留量、氾濫量の関係より、鬼怒川流域では雨が約7億m³降り、降った雨のうち5億m³がダム上流域から流出した。このうち、ダムでは約1億m³が貯めこまれ、洪水水面形から河道の貯留量は1億5千万m³、氾濫量は0.4億m³となった。氾濫量を無くすうえで、流域の洪水ボリュームの分布を治水施設のストック効果の改善で調整可能と考えられる。
- 鬼怒川の中流には霞堤が22個ある。中流部の川底が下がって水位が高水敷に上がらなかったため霞堤に洪水が入らなかった。中流部の河床低下河道については、低水路を埋め戻し遠賀川のような船底型断面形にすることや、急流河川からの土砂流出の促進、ダムからの排砂等により、河床高を上げることができれば水面が上昇し、水面幅が増大して霞堤に水が入るようになる。結果として中流部の貯留量が増大し、下流の水位低下によって被害軽減につながる。
- 河川の水位をあげる河川改修は一般的ではなく、抵抗を感じる人もいるが、氾濫被害の軽減を総合的に実現するためには有効であり、その他の対策も含めて技術的・社会的に検討する必要がある。
- 現在の水理計算は信頼度が上がっており、水面形が分かれば貯留量はかなりの精度で解析できる。河床高を上げることができれば、一つの有力な解決策を与えることが可能である。
- 流域全体の現在ある治水施設のストックをどうやって有効に使うのかがこれからの課題である。治水施設の水量収支を適性化するとともに、河川と流域が一体となって水害リスク軽減に努力しなければならない。



- 気象変動等に対しては、現在の治水計画で対応できる河川流域もあるだろうが、そうでない氾濫リスクの高い河川もある。流域総合河川計画は河川ごとに違ってよい。
- 水害リスク評価のためには堤防破壊リスク、氾濫リスクを考慮する必要がある。
- 河川管理者から提供される種々の洪水規模に対する堤防破壊リスク・氾濫リスク情報を基に、リスクを軽減する街づくり・地域づくりを50年、100年のスパンで考えることが求められる。
- 現在の検討基準にある洪水位がH.W.L.を超過したら堤防が決壊するのかわについては、十分勉強しなくてはならない。河川堤防のボーリング土質データにより堤防の天端部分までどんな土質材料から構成されているかが公表されている。観測水面形の時間変化に合うように洪水流の水理を解いていけば、任意地点の流量、流速分布等の流れ場も全て把握でき、この結果を用いて堤防の破壊危険性の検討が可能である。
- 堤防前面の洪水位ハイドロと堤体のボーリングデータから滑りと浸透の破壊危険確率を計算しこれを縦軸に、洪水継続時間と堤防の幅、水位の関係から導き出した堤防脆弱性指標を横軸にとりプロットすると、堤防脆弱性指標が 10^{-1} とか 10^{-2} のところでは堤防破壊の危険性が高いことが分かってきた。今回の鬼怒川および昭和51年の長良川の破堤では、破堤時の破壊危険確率はそれぞれ30%と45%であり、その時の脆弱性指標は鬼怒川0.01に対して長良川0.05とほぼ似たような値となっている。
- 堤防の破壊危険確率については、他の土木構造物と同じようなレベルで評価できる時代が来ており、今後は事例を増やして信頼度を高めていく必要がある。

5. 鬼怒川の氾濫を教訓とした流域総合河川計画の展開

- 鬼怒川を例に示す「流域総合河川計画」は、流域における水害リスク軽減のために川ダム群や河道における治水施設のストックを洪水流の貯留機能を活かしながら効果的に使い、流域の水量収支を適正化するとともに、河川と流域で一体的に水害リスク軽減を目指すものである。
- 水害リスク評価のために、堤防の破壊リスク、(堤防破壊危険確率、脆弱性指標)、氾濫リスクの導入が必要である。
- 気候変動等に対し、現在の治水計画でも対応できる河川流域はあると思われる。しかし、今後増大する水害リスクについては、十分とは言えない。「流域総合河川計画」は、流域に適應した水害リスクの軽減を多重的手段によって検討するもので、流域ごとにその方法は異なる。
- 河川管理者から提供される種々の洪水規模に対する堤防リスク、氾濫リスク情報に基づき、洪水氾濫リスクを軽減する「まちづくり」、地域づくりを「地域づくり協議会」等で行う。
- ハード技術とソフト技術の融合、部局間、他分野間の連携による多重的な流域管理技術を創造することが期待される。

5.1 氾濫リスクを考慮した河川整備、管理と水害リスクの軽減

- 気候変動による洪水外力の増大に対し、河川・流域が抱えるリスクを踏まえた流域総合河川計画の考え方がこれからの治水計画に重要である。
- 計画洪水位以下の水位に対する通常の洪水の作用に対して安全となる現在の計画の実行が最も優先される。超過洪水に対しては、現在の河川の実力を正しく評価した危機管理対策で対応する。
- 河川堤防ボーリング調査の土質データを活用し、堤防の余裕高部分まで洪水水位が上昇したときの堤防の破壊危険確率を評価する。これにより、堤防の信頼性と堤内地の水害リスク分析を合わせた氾濫域のリスクマネジメントを検討する。
- 超過洪水による氾濫対策にあたっては、河川管理者から提示される氾濫リスク情報を活用し、都市、地域との連携による被害軽減を進める。

5.2 堤防リスク管理—堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標

現在の治水計画は、計画洪水位(HWL)までは治水施設によって守られ、これを超えると直ちに堤防が決壊が発生するとしている。多くの河川は整備途上にあることから、洪水流は、余裕高部分まで流れることが多くなっている。

水害リスクの評価のためには、洪水外力に対して堤防の浸透・滑り破壊の危険性の判断、および避難のための堤防決壊までの時間の見積もり、さらには、堤防強化等の技術の確立が喫緊の課題となっている。

5.4 堤防基礎データ、破壊危険確率から見た危険箇所の推定

堤防脆弱性指標と破壊危険確率の関係

堤防脆弱性指標 t^* と破壊危険確率 P_f の関係 $t^* = \frac{t - t_0}{\lambda B(t)^2 / kE(t)}$

- 都市の水災害軽減に対し、治水安全度向上の為の河川と都市の連携が必要である。堤防の脆弱性指標と破堤した場合に水がどのように流れるのかといった氾濫リスク情報を地域住民に正しく伝える必要がある。今後、これらの情報を基に地域は水害リスク軽減の対策を考えることになる。沿川市町村の流域共同体としての連携が求められる。
- 氾濫によって蒙るハザードを適切に選定することによって、水害リスク軽減をまちづくりの側から主体的な検討が可能となる。このとき鬼怒川の対策のひとつとして例示した水位を高める手段が中流部の危険度を増大させるのであれば、堤防の強化などそれに見合った対応を検討する必要がある。
- 東京都の神田川では、洪水時の水位観測から、河川と下水道の水位が密接に関係することが明らかになったことから、豪雨排水に対する河川と下水道の一体整備の必要性が認識され、豪雨災害軽減に向けて連携した取り組みが始まっている。
- 他部局や他省庁と連携し、多重構造で水災害から都市を守る。それが流域総合河川計画であり、洪水時のポンプ排水のルール化等についても、これからの検討課題である。
- 水防災が関係する法律・制度も色々あるが、実情には合わずあまり有効でないものもある。河川技術者はこれらの法律・制度を勉強して、今後の対策のあり方について検討する必要がある。
- 気候変動に対応する治水対策の新たなステージに向けては、巨大な規模の水害だけでなく、整備途上中の河川についても着実な水害対策が必要である。種々の規模の洪水に対し、氾濫した時の対応を検討する必要がある。
- 治水ストックの有効な活用と堤防破壊危険リスク、氾濫リスク等を考慮した河川と流域が一体となって水害リスクを軽減する川づくり・地域づくりを総合化し、流域総合河川計画の考え方の実践を進めなければならない。
- 都市の水防災の軽減のためには、部局間、他分野間の連携、ハード技術とソフト技術の融合による新しい流域リスク管理技術の創造、社会・経済の変化に対する次世代社会インフラ整備のあり方の検討が必要である。
- 水災害の見える化によりできるだけ正しい情報を公開する必要がある。そうしていかないと、これからの水害問題、巨大水害リスクには対応できない。

6.1. 河川と下水道施設の統合運用化による水防災まちづくり

- ・河川施設も下水道施設もそれぞれの計画規模の外力に対しては達成されていないために、河川と下水道の豪雨排水計画は、独立に近い形で行われている。
- ・都市の水防災のためには、河川と下水道の整備の整合する合理的な整備手法が検討されなければならない。
- ・このためには、豪雨時の都市河川流域における河川と下水道マンホール群の水位を時間・空間的に密に測り、データの共有化により河川と下水道での水の流動状況を明らかにし、両施設の統合運用について検討を行う必要がある。－東京都の下水道局、建設局河川部の神田川での連携した取り組み。
- ・これらに合わせて都市施設等の配置や構造についても、水防災の視点を含めた総合的な調査検討により、水害に強いまちづくりにつなげることが望まれる。

7. おわりに

- ・気候変動に対応する治水政策の新たなステージに向けて－水害リスク軽減への対応
- ・治水ストックの有効な活用と堤防破壊発生リスク、氾濫リスク等を考慮した川づくり、地域づくりを総合化した河川と流域が一体となって水害リスクを軽減する「流域総合河川計画」の展開
- ・都市の水災害の軽減のための部局間、他分野間連携とハード技術とソフト技術の融合による新しい流域リスク管理技術の創造
- ・Innovativeで、かつ社会、経済の変化に対応する次世代社会インフラ整備

基調講演に対する質疑

- 会場 : ・河床高を上げるという対策は、既存の遊水地をうまく使うためということか？
- 福岡教授 : ・霞堤というストックを有効に活用するということと、できるだけ洪水流を遊ばせて、早い流速で下流に流下するのを防止するということになる。
- 会場 : ・船底型河道は、河岸に近いところを固定床で施工するということか？
- 福岡教授 : ・高水敷を下げるのみで河岸付近を固定床にするわけではない。掘削土砂は低水路の埋戻しに活用する。低水路の埋戻しにはダム等からの流出土砂も活用する。
- 会場 : ・人為的にそのように施工してもすぐに元の河道に戻ってしまう懸念はないか？
- 福岡教授 : ・河川によっては、そういう懸念はないわけではないが、それは次のステップで研究していくべきテーマと考える。

投稿論文からの話題提供

「グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み」

国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所河川管理第一課 課長 山本一浩

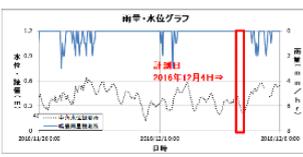
- 定期横断測量成果は、長年にわたり蓄積されてきており、重要な情報である。この測量は、概ね5年に1回程度実施され、縦断方向に200mピッチで実施されている。
- 一方、現行の定期横断測量の課題として、護岸周辺の洗掘、瀬淵などが測線間にあると分かりにくいことが挙げられる。また、水面下を計測する深淺測量の作業には危険が伴い、時間も掛かる。
- 今回の研究は、定期横断測量に航空レーザ測量を適用し、これらの課題の解決を図るものである。
- 陸上部については、近赤外線レーザを用いた測量手法が開発、実用化されている。ただし、水中部については通常の近赤外線レーザでは計測できないことから、グリーンレーザを用いた航空レーザ測量が活用されてきている。
- グリーンレーザを用いた河川測量にも課題があり、河川測量への適用事例が少なく、測量精度の検証が十分に行われていないことが挙げられる。また、水中部の横断図の作成手順が今のところ整理されていないことも課題である。
- 本研究では、水中部の点群データから横断図を作成する作業の流れを整理し、測量精度を検証するものである。また、横断図の作成に活用するだけでなく、面的に得られた点群データの河川管理への活用についても考察する。
- 航空レーザ計測の原理は、航空機もしくはヘリコプターから照射されたレーザが物体に当たってはね返ってくるまでの時間で標高を求めるものである。近赤外線レーザとグリーンレーザの違いは、計測の原理ではなく、波長である。
- 近赤外線の波長は約1.0マイクロメートルであり、太陽光の影響が少ないが、グリーンレーザは、太陽光の影響が大きいため、ノイズが多量に出るので、陸上を測量するには近赤外線レーザが適している。一方、グリーンレーザは水を透過するため、水中部の計測に適している。
- このような測量機器をヘリコプター等に搭載して測量を実施する。この機器は、近赤外線レーザとグリーンレーザを同時に発射し、可視画像、近赤外の画像を合わせて撮影可能である。
- グリーンレーザは海岸線を計測することを目的として作られたものであり、海中の透明度が比較的高いため、15m程度の水深まで海底の標高を計測できる。今回、九頭竜川で計測できた水深は最高で5mであった。

- 計測範囲は、距離標で18kp から29kp の約11km の範囲であった。計測範囲の九頭竜川の特徴は、水が比較的綺麗であること、樹木が繁茂し砂州河原が減少していること、及びアラレガコが生息する場所が天然記念物であることが挙げられる。
- グリーンレーザは先ほども言ったように透視度が良くないと水深を計測できない。そこで、既に降った雨量や天気予報を確認しながら、水位の低い日の前後で濁度を測定した。濁度、SS の計測の結果はいずれも低く、透視度も100cm 以上あることを確認した上で2016年12月4日に測定を実施した。計測時間は2時間程度であった。
- 断面形状の特徴や高水敷等の利用状況が異なる5断面を抽出し航空レーザ測量成果を実測値と比較することで、精度を検証した。
- 一つ目の精度検証として、計画高水位以下の断面積を算出して実測値と比較した。その結果、全断面で98%以上の精度が確保されていた。
- 二つ目の精度検証として、測量で得た各点について、水中部と陸上部に分けて、それぞれ較差と標準偏差で精度を検証した。水中部は10cm以下という良い精度が得られた。陸上部の一部分では、少し大きな較差が確認されたが、これは樹木の繁茂箇所や小さな構造物がある箇所であった。こうした箇所では補足測量が必要となるが、今回目的とした水中部では非常に良い結果が得られた。

計測の実施と水質の確認

■ 水位・雨量の確認

- 無降雨状態が比較的長く続き、水位が低いことを確認の上、計測日を確認



計測前後の雨量と水位状況

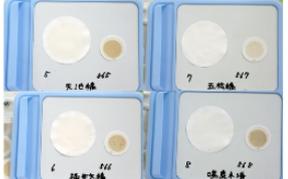
2016年12月14日に計測を実施 (2時間程度で計測完了)

■ 水質の状況

- 現地で透視度を確認し、いづれの地点でも100cm以上確保されていることを確認
- 水質検査に限り、濁度やSSにおいても良好な水質であることを確認

調査地点	濁度	SS(TA)	SS(40)	透視度
天建橋	0.8	1mg/L	1mg/L未満	100cm以上
龍井大塚	0.6	2mg/L	1mg/L未満	100cm以上
五杉橋	0.2	1mg/L未満	1mg/L未満	100cm以上
角館大塚	0.5	1mg/L未満	1mg/L未満	100cm以上

SS検出の結果 (5箇所による検出の状況)



実測値との精度検証

■ 検証断面の設定

- 水深や地表面の被服状況に応じて5断面を選定 (全断面56)

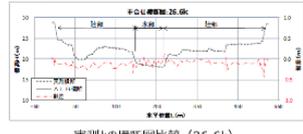
距離標	最大水深	選定理由
18.0k	3.0m	下流側別業務成果との比較
18.8k	1.5m	河道内の被覆状況がグラウンド
23.4k	3.5m	河道内の被覆状況が樹林
26.6k	2.0m	河道内の被覆状況が草地
29.0k	1.0m	上流側別業務成果との比較

■ 精度検証 (較差による比較)

- 実測とALB横断で標高を比較 (較差)
- その結果、水部では平均値と標準偏差で10cm以下となった。
- 陸部では埋脚水路の側溝や護岸のブロック積みの箇所で格差が大きくなった。

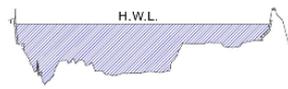
距離標	水部		陸部	
	平均	標準偏差	較差	標準偏差
18.0k	0.10	0.04	10	0.68
18.8k	-0.01	0.07	23	0.72
23.4k	0.00	0.09	10	0.17
26.6k	-0.08	0.09	15	0.08
29.0k	-0.06	0.07	22	0.39

標高較差による精度確認



■ 精度検証 (河積断面による比較)

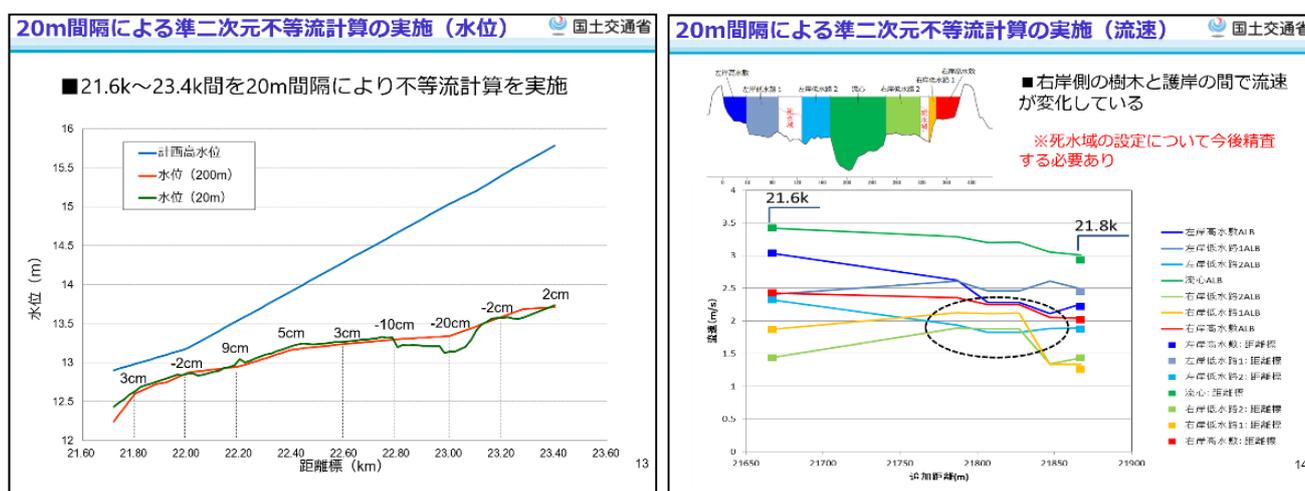
- H.W.L.以下の河積で評価した結果、すべての断面で98%以上を確保した。



話題提供講演 スライド9,10

- 次に、主題図作成であるが、航空写真は通常同時に撮影するため当然得られるものである。また、立体表示をすることにより、樹木が繁茂している状況を確認できる。
- フィルタリングをして橋梁、樹木、建物を取り除き比高図として表現し、水面を0mとし水面より下が青色、それより上が茶色もしくは緑色とすることで、水深分布や砂州の比高も把握できる。
- 水中部のデータのみを使った水深分布図では、橋梁周辺の深掘れやワンドの近くにある淵など、航空写真では把握できない箇所が見えるようになる。
- 洪水時の砂州の変形、滞筋と流れの関係などについても推測が可能となり、比高図からは河川の特徴を抽出できる。
- 次に、21.6km から23.km の区間について20m 間隔で横断図を作成し、不等流計算を実施した。計算にあたっては、死水域も含めて設定した。
- 200m ピッチの従来の横断を用い不等流で計算した水面形と、20m 間隔の横断で計算した結果を比較すると同じ水面形となることが分かるが、局所的に少し水位が異なる傾向も見受けられる。

- 流速については、流心や左岸側であまり変化はないが、20m 間隔の計算では、点線で囲んだ箇所ですら少し流速が速いなどといったことが分かる。死水域と高水敷との間で少し流速が速くなるのが計算結果として確認された。死水域の設定については今後精査する必要がある、これが正解だということではないが、こうしたデータがあることで任意の断面を計算断面として設定して解析できるようになったと言える。
- 河川管理に関しては、測線間の洗掘や護岸の崩壊箇所について今回の測量で計測することができた。対策が必要な区間を抽出し、根固めや、護岸補修等の必要な箇所など、河川管理で対策が必要な箇所の優先順位や、任意で作成された横断面から机上で必要な対策の検討を行う上でも有効と考える。
- 国道 8 号の福井大橋について、航空写真では洗掘状況が確認できないが、申請図を使って三次元モデルを作った上で ALB データと比較した結果、フーチングまで約 1m あることが確認でき、洗掘されているものの、現時点では大きな問題はないことが確認できた。橋梁周りで任意の横断を作成することができることから、道路管理者との協議においても有効である。



話題提供講演 スライド 13, 14

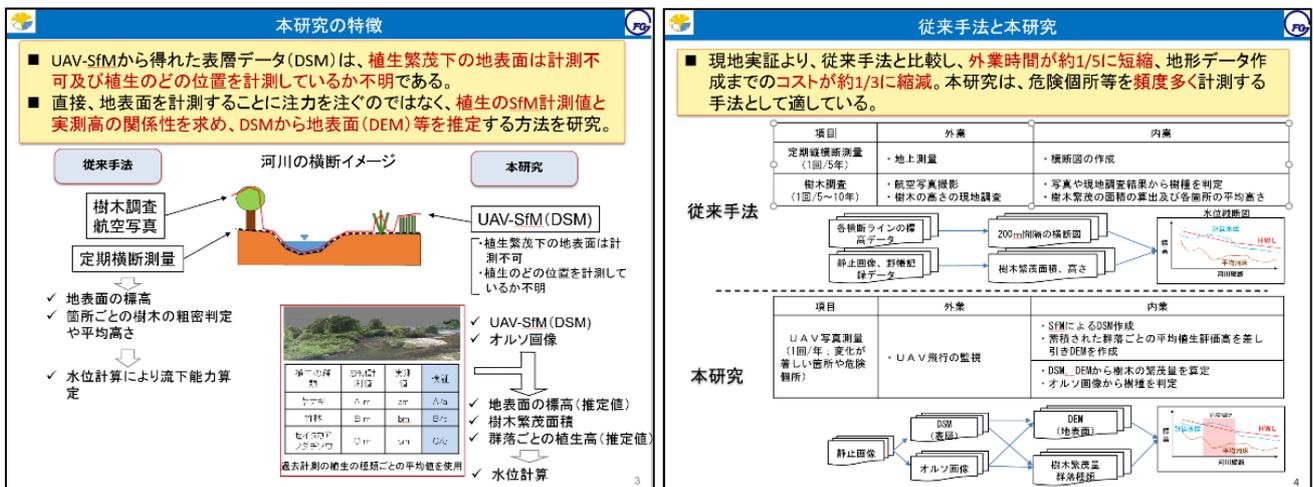
- 九頭竜川において ALB による河川地形の計測を行った結果、従来の測量との較差はほとんどなく、特に水中部での較差は 10cm 以下であり、その精度に問題がなかった。
- 河川管理への適用について、比高図を判読することで河道内の特徴を推測できること、水面形の計算を 20m 間隔等の短い間隔で計算できること、河岸浸食の対策を机上で検討できること、橋梁の橋脚部分付近の洗掘を確認できることを示した。
- コストについては、今回測量を実施した 11km 区間に関しては、ALB 測量と従来の水準測量とであまり差はなかった。
- 直轄管理の河川では、川幅も広く、特に水面が広いため、逆に ALB の方が安くなる可能性がある。今後、他の河川で定期縦横断測量を実施する際には、参考にされたい。
- これまで横断データを蓄積してきたが、面的なデータの蓄積は今後の河川計画の策定や河川管理の推進にあたって重要であり、災害後に同様に計測することで、その差分から災害による地形変化を確認できるようになる。

投稿論文からの話題提供

「UAV-SfM 技術を活用した河川地形把握や河道管理」

東京大学大学院情報学環 特任講師 齋藤正徳

- 簡易かつ安価な方法で河川地形を把握し、河道管理へ活用する手法について紹介する。国管理河川だけでなく、県管理河川でも本手法を活用することを目指している。
- 国管理河川においては、地形測量が 5 年に 1 回程度、樹木調査が基本的には目視、又は航空写真で 5 年から 10 年に一回実施されている。
- 一方、県管理河川においては、災害が発生した後に初めて災害申請のために地形測量を実施する河川が多く、発災前の地形が把握されていないという課題がある。また、低水路内の地形変化、樹林化の進行速度が速いことから、これらの経年変化を客観的に把握できていない。
- こうした課題を踏まえ、砂州等の地形変化、植生の経年変化を安価な方法で計測し、簡易に流下能力を算定する方法について、現場での実証を通じて実現可能性を確認するものである。
- 評価のイメージとしては、UAV によって写真で撮影、静止画像から Structure from Motion (以下、SfM) とあるが、オーバーラップしている写真の静止画像から対象物の三次元形状を復元する技術を使い、平面図のオルソ画像や点群データを作成し、その後河川管理の現場で利用することを考えている。
- 次に、本研究の特徴について紹介する。従来手法では、一般的には樹木調査、航空写真、定期横断測量で地表面の標高データまたは箇所ごとの樹木の粗密の判定や平均高さを求めた上で、流下能力を計算する。
- 本研究では、UAV の SfM を用い、画像データや点群データから地表面の標高等を計測する。しかし、課題として、植生が繁茂している箇所では、地表面の標高を計測できず、植生の高さもどの位置を計測しているかが分からない。そこで、植生の SfM の評価値と実測高との関係性を把握し、UAV の表層データ、オルソ画像から、植生ごとの SfM の評価値、実測値との関係性が得られた評価値を用いて、地表面の標高データや樹木の繁茂密度や植生高を推定する。こうして推定した植生高等のデータを用いて水理計算を実施するものである。
- これにより、水理計算までの検討に掛かる時間が従来の測量と比べて約 5 分の 1 に短縮できると考えている。また、地形データの作成に掛かるコストが約 3 分の 1 に縮減される。本研究は、危険箇所や経年変化が激しい箇所を頻度多く計測する手法として適していると考えている。



話題提供講演 スライド 3, 4

- 次に現場での実証について紹介する。まず、点群データの標高の精度の検証として、地表面について裸地、水域、植生部と場合分けし、それぞれ標高の計測値と実測値との比較を行った。
- 実測値（正解データ）については、定期横断測量が同時期に実施されているので、このデータを使った。画像データは、SfM から得られたオルソ画像を活用して平面図を作り、堤防から見えないところ、死角領域に位置している低水護岸の変状を確認できるかどうかを現地で確認した。
- 計測機器は、市販の UAV、ドローン、4K カメラであり、計測条件は、誰でもできるような一般的な方法で実施することとし、対地高度 60m で計測した。
- 実証実験を行った場所は、名取川と広瀬川の合流点付近である。ここでは、低水路に樹木が繁茂していて、一部河道掘削によって流下能力を向上させており、地形の変化が激しい箇所である。
- SfM から得られた大体 1 m²あたり 280 点の点群データから、同時期の定期横断測量の測線上に近い点を拾い、従来手法のデータと比較した。
- 植生部については、ポール計測により植生の実測高と今回得られた UAV の SfM と定期横断測量との差分で植生高を求め、その植生高と実測高との比較を行った。
- 画像については、今回の結果では対地高度 60m で画像の解像度は地上で1ピクセルあたり約 1.8cm となり、ひび割れ等は分からないが、根固め等のブロック、水中部も含めて大体把握できた。
- 植生区分ごとに検証を行った結果では、裸地部については、従来手法と比べてほぼ同等の計測精度があった。水中部は濁りの影響で SfM の評価値が浅めに評価された。
- 植生部は、表層付近に空隙や空間が大きい植生の場合、SfM の評価値がより下層を捉えるようになり、植生の繁茂状態によって、計測位置が異なるという結果が得られた。
- 植生の群落名、SfM の評価値、及び実測値を表に整理した。計測条件としては、時期は 10 月、風速は 4m くらいで高い樹木は最頂部が揺れていた条件下でのものである。
- 今後は、複数の環境条件下で繰り返し計測を行い、UAV の SF M の評価値と実測値の関係性を定量化し、新しく SfM で得られた表層データから、過去に蓄積した群落ごとの SfM の評価値の平均値を差し引くことで、別途地表部のデータを計測しなくても表層からその下層を推定し、流下能力算定に必要な DEM データや樹木の繁茂量を簡易かつ安価に推定する予定である。
- 今回は写真測量から河川地形を把握する場合の精度検証を行ったが、河道管理において様々な活用場面があると考えている。例えば、船上巡視の代替としての活用が期待でき、UAV の写真から低水護岸の変状（洗掘・異常堆砂等）を把握できるのではないかと考えている。

現場実証結果

- 定期横断測量 (H28実施) の測線上において、UAV-SfM と実測値とを比較。
- 植生域については、ポール計測による植生実測高と差分 (UAV-SfM・定期横断測量) とを比較。
- また、UAV-SfM で生成されたオルソ画像より、船上巡視の対象である低水護岸の変状を確認できるかどうか検証。

✓ 283 点/m²の点群データ

✓ 地上解像度 1.8cm/pixel であり、水中部の根固めブロックの様子も十分把握可能

✓ 横断5測線上 (数m間隔) の位置と対応する点を抽出

植生の種類ごとの UAV-SfM の植生評価高

■ 群落ごとに DSM の植生高の定量的なデータが蓄積されれば、新たに計測した DSM から、群落ごとの UAV-SfM の植生高評価値の過去の蓄積データの平均値を差し引くことで、DSM から流下能力算定に必要な植生下の DEM や樹木繁茂量を簡易かつ安価に推定することが可能となる。

群落名	UAV-SfM 評価値 (m)	実測値 (m)	差分 (m)	植生高 (m)	葉茂率 (%)
アズマナギサ	5.6m	6.1m	0.5	1	低葉型
ヨシ	1.3m	2.0m	0.6	1	中葉型
ライダカブ	0.7~2.0m	0.9~2.3m	1.6	2	密葉型
カナムグラ	1.6m	0.6m	1.7	1	中葉型
ササ	1.2~1.6m	3.1~3.3m	2.7	2	山型
イタドリ	0.3~1.2m	2.3~3.3m	0.3	2	低葉型
モウソウカキ	15~18m	19~22m	1.6	2	密葉型
オニグルミ	4.6m	5.0m	0.4	1	密葉型

※1 UAV の画像から得られた DSM と定期横断測量結果の差分を算出し、算出した差分を植生高の平均値から差し引くことで、植生下の DEM や樹木繁茂量を簡易かつ安価に推定することが可能となる。

H28年度実施

✓ 特性の環境条件下における計測結果

- ・ 時期: 10月
- ・ 風速: 0~4m/s

今後

✓ 複数の環境条件下における計測を実施し、UAV-SfM の植生高評価値を定量化

植生の種類ごとの UAV-SfM (DSM) ↔ 植生の種類ごとの実測値

河川管理

✓ 計測時の環境条件に応じて、DSM から DEM 等を推定

話題提供講演 スライド 6, 8

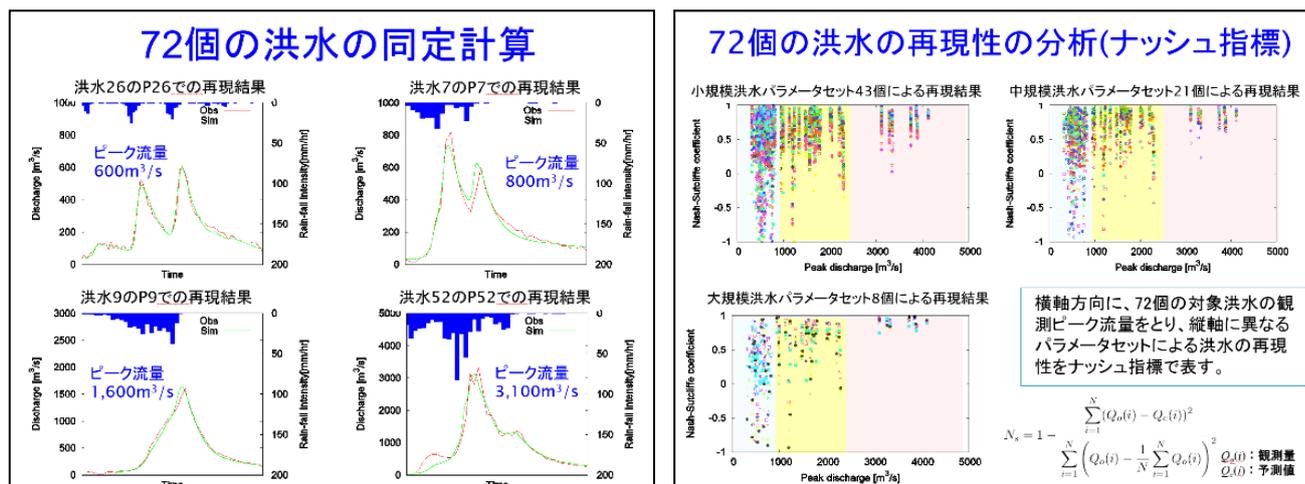
投稿論文からの話題提供

「任意地点を対象とするリアルタイム水位・流量予測に向けた技術開発について」

京都大学大学院工学研究科 教授 立川康人

- 任意地点を対象とするリアルタイム水位・流量予測に向けた技術開発について紹介する。
- 現在求められている情報は、特定の地点での予測ではなく、河川網全体での水位や流量を予測し、任意地点を予測対象とするようなシステムの開発あるいは運用というのが主流になっている。
- ある河川の流域というように流域を区切るのではなく、気象モデルと同様に、ある範囲全体の矩形領域を切り取って、その中で流量計算を実施するのは現在ではそれほど難しいことではない。
- したがって、東北地方全体、関東地方全体、あるいは九州地方全体など、広い範囲での計算を実施できるようになってきている。
- こうした流れの中で、例えば洪水予警報、注意報、大雨警報あるいは注意報などで、雨量土壌指数とか流域雨量指数というのが実際に使われている。特に、今年の7月からは流域雨量指数についてもマップ化され1キロの分解能の情報が出るということが報道されている。
- この流域雨量指数というのは、降水量を入力してタンクモデルで計算された流量をキネマティックウェーブモデルで追跡計算し、日本中の各地点での流量を指数として算出しているものである。
- 流域雨量指数は、過去に実際に大きな災害が起こった時の値に比べ、どれくらいの値が出そうかということを指数として表すもので、具体的に値がどうであるかということよりも、過去に起こったことが現実に関わりそうかが示されるため、非常に有効な情報になると考えられる。
- アメリカでも各流域で、種々の組織が河川流量を予測し、河道の追跡計算を実施して水位・流量を予測しているが、約2年前にナショナル・ウォーター・センターを作り、アメリカ全体の河道の水位・流量計算をやるようになってきたそうである。
- このように多地点で計測できるようになってきた降雨や水位の情報を取り込んで、同化しながら予測するといった仕組みができるようになってきた。
- 一方、河川の任意地点での水位・流量を予測するための技術的課題について述べる。
- リードタイムを確保する観点からは、やはり降雨予測情報が不可欠である。少なくとも観測情報としては、十分な観測分解能と精度を持つようになってきており、画期的なことである。
- 降雨流出モデルは、モデルの構造、特に有効降雨について、パラメータの同定が不十分であり、それを補う仕組みがないと、実時間予測でよい結果を得ることはできない。
- 河川流モデルとしては、一次元不定流計算や二次元不定流計算などの解析モデルがあり、これらは非常に素晴らしい。粗度係数などのパラメータも適切な値を設定しやすい。
- こうした時々刻々と変化する降雨流出モデルと河川流モデルから推定される結果の不確かさを補完する手法として、フィルタリングや同化、フィードバックというような仕組みが大事である。
- 今後、河川網全体で計算していくために、限られた時間内に空間的に広がる状態量、例えば河道や流出モデルの貯留量、パラメータを観測水位とモデル値から推定する仕組みが必要になる。
- 降雨流出モデルについてうまく行かなかった例として新宮川の事例を紹介する。新宮川にある池原ダムの上流域におけるダム流入量のデータを収集した。ダム流入量はそれなりの精度があると考えられ、1990年以降のデータについて、異常値を除くと72個の洪水のデータがあった。
- これを大まかにピーク流量あるいは出水ごとの流出率で分類すると、ピーク流量が1,000m³/s未満が43個、1,000m³/s以上2,500m³/s未満が21個、2,500m³/s以上が8個であった。

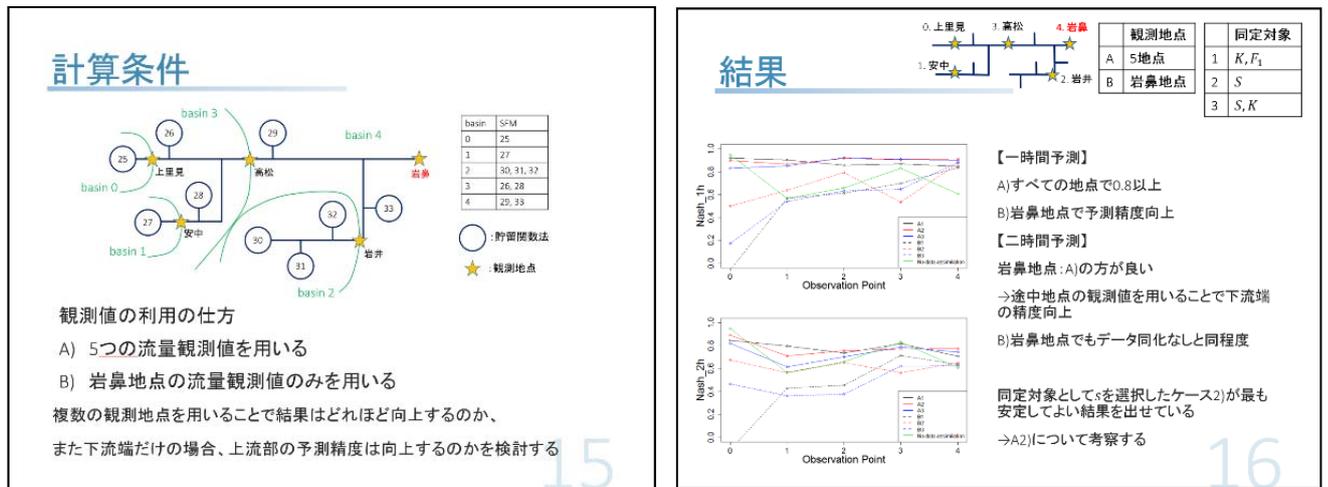
- これら 72 個の洪水データについて、個々にパラメータのチューニングを行った。パラメータのチューニングがうまく行けば、ピーク流量の異なる洪水であってもかなり良い再現性を示す。
- 横軸に 72 個の対象洪水のピーク流量、縦軸に洪水の再現性を表す NASH 指標をプロットした結果を紹介する。NASH 指標は 1 に近いほど再現性がよく、1 であれば完全に一致することを意味する。大体 0.8 以上であれば、かなり良い再現性を持つ指標として使われている。
- 小規模洪水 43 個のパラメータを使って再現計算を実施し、その時のパラメータによる計算結果では、結果のばらつきが大きいことがわかる。
- 21 個の中規模洪水でチューニングした結果を見ると、小規模洪水の再現にばらつきが大きい。
- 8 個の大規模洪水でチューニングした結果では、やはり小規模洪水の再現はバラついてしまい、大規模洪水は一定の精度で予測できるようになる。
- 小規模洪水で同定したパラメータで再現した時の NASH 指標の平均値は非常に低い。一般的に大きな洪水ほど流出率が非常に高く、降った雨がほとんど流出するので、パラメータの違いは小さい洪水ほど顕著であり、大きな洪水ではあまり生じない。
- 一つのパラメータセットで規模の異なる洪水を全て再現できる計算モデルは、なかなかできておらず、我々が長年使ってきたモデルもこの程度の結果であり、何とか改善しなければならない。
- 最近では、佐山先生や小杉先生のグループが一つのパラメータセットで小規模洪水から大規模洪水まで再現できるモデルを検討し、かなりの成果を出している。



話題提供講演 スライド 8, 9

- こうした問題点があるので、各種のフィルタリングや同化といったチューニングの方法があり、粒子フィルタ等の汎用的な方法がある。
- こういった方法は、計算負荷は非常に大きくなるが、モデルの構造をいじる必要がないので並列計算により計算を実施すれば、既存の仕組みに導入していくことが比較的容易と思われる。
- 事例として、CommonMP を使い貯留関数法により利根川の上流域の 9 個のサブ流域と 5 地点の観測地点を対象に試算し、この 5 地点の観測値を全て使った方が良いのか、あるいは一番下流だけ使った方が良い結果が出るのかなどを検討した結果を紹介する。
- モデルパラメータの K や F1、あるいは状態量である貯留量 S や K にノイズを与え計算を行った結果、5 地点の観測値を用いた場合は、パラメータの同定対象によらず何れのケースでも一時間予測ではある程度の精度が確保された。一方、下流端だけの情報を与えた場合は、上流の結果が非常に悪いことがわかる。

- 二時間予測では、全体的に成果が悪くなり、特に下流端だけの情報を与えている場合、粒子フィルタを使ったとしても、上流での再現性はほとんど改善しない。この結果から、多地点の観測情報を用いることで、全体として精度が向上することが分かった。



話題提供講演 スライド 15, 16

- 最後にまとめると、以下のとおりである。
- 実時間予測では、特定の地点の予測でなく、河川網全体での流量・水位を予測して、任意地点を予測対象とする予測システムの開発・運用が主流になる。
- 予測モデルの構造やパラメータ同定の不十分さを補うために、面的なフィルタリング（データ同化、フィードバック）の仕組みの導入が必要になる。
- 予測モデルが不十分だと、フィルタリングを導入しても予測精度は上がらない。
- あらゆる規模の洪水を一つのパラメータセットで再現できる流出モデルはできていない。
- 流出過程のモデル化に改めて焦点を当てる必要がある。

総合討議

進行: 名古屋大学大学院工学研究科 教授 戸田 祐嗣

パネラー: 中央大学研究開発機構 教授 福岡 捷二

近畿地方整備局福井河川国道事務所河川管理第一課 課長 山本一浩

東京大学大学院情報学環 特任講師 齋藤正徳

京都大学大学院工学研究科 教授 立川康人

戸田教授: 総合討議として、河川技術として今後どういう方向性で技術開発あるいは情報を使うことも含めて、技術開発していくかということについての論点になると思われる。

・講演の質疑も含めて、どの観点からでもよいので意見を伺いたい。

会場: 水文流出モデルについて、多点観測情報の精度が上がると、モデルの悪いところや、パラメータの設定を精査することができるのか?

立川教授: 通常の水位観測だけでは、なかなか難しい。

・流量計算をする場合、雨を与えて出口から出てくる総量だけを見ていることが多いが、全体を足した分だけでモデルの構造を精査することも難しい。

- ・ただし、降雨観測の精度についてはレーダーを含めて非常に高精度になっており、モデルの精度が悪い要因として降雨観測を挙げることはできなくなっている。

会場 : ・NASH 指標の事例で、精度が特別悪いように感じたが、それは対象フィールドの問題か？

立川教授 : ・NASH 指標は比率になっているので必ずしも、いい指標なのかどうかというのもある。

- ・大規模な洪水であれば、流出率が大きくそれほど精度が悪くなることはない。
- ・中小規模の洪水は、降雨量が同様でも流出量がまちまちで、そこが一番難しいところである。

会場 : ・水面形を基にシミュレーションにより流量を推定する場合、縦断方向・横断方向の粗度係数の変化にかなり気を使う必要があるのではないかな？

- ・不等流解析の枠組みでは粗度係数は複雑に変化し同定が困難なものであったが、平面二次元解析等で考える場合は、粗度係数の変化にどの程度気を使う必要があるのかな？
- ・河道の貯留効果によって、ピークカットや流量の低減という効果ははっきりと生じるものなのか？

福岡教授 : ・結論から言って、緩やかな沖積平野の河川であれば粗度係数は大きく変化するものではない。ただし、河床材料が大きい急流河川は別で、土砂移動が時空間的に変化し、その結果、粗度係数等が大きく変化する。水の量だけでなく土砂の移動量も時空間的に変化するのでこの分野の研究が重要である。

- ・粗度係数については、一次元不等流解析の時代は樹木の状況や河床の変化等によりばらつきが大ききものであった。その後、準二次元解析、平面二次元解析、準三次元解析など流れの解析手法が高度化してくると、粗度係数を変えなくても、流れの変化が表現できるようになった。
- ・鬼怒川の事例のように霞堤に水を入れたり、河道貯留により洪水流をゆっくり流すことができれば、ピーク流量は低減する。特に洪水流のような不定流で縦断的に断面積が大きく変わるところでは河道における貯留効果が大きく、ピーク流量を減衰させることに役立つ。

戸田教授 : ・福岡教授がご講演された流域総合河川計画は、これまでの計画の考え方と違って流す河道から貯める河道を考えるものである。また根本的に非定常のハイドロが前提となる。この点に関して、意見や質問は無いかな？

会場 : ・行政としては、20 年前の基準をそのまま使っている状態であり、河道計画についても準二次元不等流解析が基本となっている。

- ・一方で、計測技術・観測技術の発展により相当色々なことがわかるようになってきており、行政としても技術の発展を真摯に受け止め対応していかなくてはならない。
- ・河道そのもののポテンシャルを最大限に使っていくというのは既存ストックの有効活用にも通じる話であり、また河川環境をどう考えていくのか、あるいはその後の河道管理をどうしていくのかということにも繋がる話である。これまでは治水対策、環境対策、それから管理の場面でどうするかということを別々に考えていたものを、一緒に考えられるような時代になってきている。
- ・こうした技術をどのように使っていくのかについて、河川整備計画や災害復旧、現場の状況を踏まえ基準に反映できるものは反映していかなくてはならない。また、新しい技術を現場でもどんどん使い、その情報を現場同士で共有できる仕組みを作っていく必要がある。

- 戸田教授：・水面形がきちんと計測できて、これを基に流量が推定できるようになってきている中で、この結果は水文側の研究にとってどのように活用できるのか？
- 立川教授：・一つ大きいのは、解析モデルから H と Q の関係を高精度に算出することができることにあ
ると思う。流出モデルで算出して Q を H に換算するとき非常に有効であり、従来の HQ
曲線の誤差の解消が非常に期待するところである。
- ・また、不定流解析により貯留量を明確にできれば、流出モデルの貯留量に同化し高精度化を
図ることも期待できる。
- 福岡教授：・現実起こった洪水については水位の縦断形の時間変化を用いた流量ハイドログラフはかな
りの信頼度が期待できる。その情報を今度は水文モデルにフィードバックして水文モデル
の高精度化を図り、計画に反映していけばよいと考えている。
- ・川の計画や川の作り方、将来のダムの問題を考える時に計画流量が問題になることが多い
が、あまり計画流量にこだわる必要は無く、実際に起こった流量での水面計を用いた議論が
重要である。その最大の理由は大きな流量を考えるとき、水面形の特性は流量によって変化
するものではないからである。
- 戸田教授：・山本さんと齋藤先生には計測系でご講演をいただいたが、発表いただいた活用例以外にも今
後の見通しや工夫が必要なところについてご意見を。
- 山本課長：・平面二次元解析を実施する際に、メッシュの河床高は横断成果の内挿により設定されること
が多いが、今回の事例のように平面的に水面下の河床高を得ることができれば、メッシュモ
デルの河床高の精度向上につながる。
- ・平面二次元解析など、今までは計算データを作るのが大変であったが、簡略化することが期
待できる。
 - ・今回のデータについては、今後どのように活用していくべきなのかを考える必要がある。
- 齋藤先生：・河川管理の実態として、地形データはがんばって計測されているが、植生・樹木の評価につ
いては結構あいまいな部分があり、水理計算でも地形データに対して植生データは与え方
がやや乱暴な場合があるので、今後は植生の計測結果を水理計算にどのように反映でき
るのかを研究していきたい。
- ・私の研究テーマとしては簡易な手法というところが 1 つある。河川ごとに傾向や特徴がバラ
バラなのでその河川に応じた計測方法があるが、予算の少ない二級河川でも既存の計測
方法で簡易に把握できる方法を考えていきたい。
 - ・また、現場の維持管理業者があまりにも複雑な手法だとなかなか実際の管理に使っていき
けないので、専門的な知識がない方でも計測から解析まで一気通貫で利用できるような方法
についても今後研究していきたいと考えている。
- 会場：・現状、多地点多量の観測等はコストを要するため、特定の組織や研究者しかデータを活用で
きない状態にある。これからは、多くの研究者がデータを取得し研究を行い、議論できるよ
うな環境を作っていただきたい。
- 戸田教授：・確かに今は多くの研究者が必ずしもデータにアクセスできない状態にある。今後データを有
効活用する仕組みについて河川部会のほうでも議論していきたい。
- 福岡教授：・各河川で水面形のデータが使えるようになったときに、今までのようにマニュアル化してど
こでも同じような技術検討をやってはいけない。洪水流の特性は河川ごとに違うものであ
り、管理のあり方も違う。洪水流の水面形には川の特性が明確に表れており、このことを明

らかにすることが必要であり、その上で河川管理を考えていくことになる。

- ・水面形の観測情報をどう使うのか、どう公開するのかを河川管理者もよく考え、管理する側と、データを使う側がよく議論し理解しあって進めていくことが求められる。

戸田教授：・昨年の OS でもビックデータの時代がすぐに来るだろうという中で、データを意味のある情報として活用する為には、本質的に河川のことを分かった技術者の力が必要で、意味のある観測情報とはどういうものかをしっかり理解したうえで活用しなくてはいけないという議論があった。河川部会が一つの役割を持つこともあるかも知れないし、みなさんと新しくそういうものを作っていく必要もあるかもしれないので検討していきたい。

福岡教授：・水文モデルの計算精度が悪い要因として、降雨データの精度を上げることができなくなったというのは本当か？

- ・水文関係の物理現象については、個別に分かってきているのか？

立川教授：・少なくとも XRAIN の登場により、降雨強度やその分布についてはかなりの精度で分かるようになってきている。

- ・地面の中の現象については不明な部分が多い。降った雨がどのような経路を通過しているのか、あるいは以前降った地面の中の雨が出てきているのかなどについて不明な部分が多い。

福岡教授：・例えばまずダムに入ってくる流量の精度を徹底的に上げてはどうか？

- ・ダムは今後の管理を考えても水文モデル精度向上のためだけではなく、河川管理上重要な施設である。流入量の精度を上げる必要性があるのではないか？

立川教授：・水文モデルの難しさは小さな流量から大きな流量まで全て一つのモデルで扱うところにあり、大規模出水であればかなりの雨がそのまま出てくるので精度がよいことが多い。

- ・大きな洪水を対象に、ダムの流入量の精度が上がったとしても色々な洪水を再現できる流出モデルの精度向上にはすぐには結びつかないように思う。

会場：・維持管理が大切だといわれている中で、河川維持管理技術の構築を考えていくために、我々は多くの勉強をしていかななくてはならない。維持管理技術についても、行政に体制の構築や予算配分を考えていただきたい。

福岡教授：・水面形は河道で起こっているすべての水理現象を含んでいるので、水面形に着目して整備計画や維持管理に取り組んでいくことが重要である。

- ・河川の研究者・技術者がいつまでも川の中だけの現象を取り扱っていたら、社会の要請に十分応えることができない。建築学会や不動産学会等が問題としている水害リスクとの橋渡しをしなくてはならない。その前の段階として、河道の洪水流、堤防の破壊リスク、水害リスク等の一連の河道と氾濫問題を研究していかななくてはならない。

戸田教授：・以上で特定課題 1 の“多地点多量の観測情報を有効に活用する新しい河川技術”という OS を閉じたいと思う。これを踏まえて次年度以降の河川技術シンポジウムに繋がっていくように、この後きちんと継続してワーキング活動などで議論していきたい。