

OS-3 パネルディスカッション

【戸田（司会）】

- ・ 数値解析技術に関するオーガナイズセッションというのは2，3年に1回ぐらい河川技術シンポジウムで取り上げてきている課題である。河川技術の中の骨格の技術として極めて大事な技術だから同じようなテーマ設定ではあるが、継続して議論を積み重ねてきているところ。
- ・ 2014年にこの数値解析の技術に関するオーガナイズセッションを実施したときには、計算技術が上がってきた中でまだまだ取れるデータには限りがあった。しかし水面形が各所で測れるようになってきた中でどう考えていくのかという議論をしてきた。2019年にはLP、ALBデータという地形データが入手できることを前提とした議論ができるようになってきたと思われる。今回改めて数値解析に関するセッションを立ち上げたい。
- ・ DXとして、AI、ディープラーニング等の機械学習技術もだいぶ進んできている。しかし、これまで経験したことがないような洪水、あるいはHWLを上回るような洪水が起きるときには、経験から外挿する技術では立ち行かない中でしっかりとした力学に基づいた解析技術が必須であり、そういった未経験事象に対して計画や管理を考えていくときに、どうやって技術を実装していくかということも含めて、真剣に問われているように思われる。
- ・ 実際にそういった洪水が目の前で発生している。さらにその頻度も高まってくるという中でこういった技術の高度化について皆さんで議論できればというふうに思う。
- ・ 総合討議の論点としては、3つ（①数値解析技術の現状と課題、②実務において数値解析に期待していること、③超過洪水を含めた河道管理、計画、設計はどうあるべきか）を挙げさせていただいた。
- ・ 1点目は3次元解析というものができるようになったということであるが、実務に適用していくための課題。2点目はそれを実装していく特に行政側で実務において、数値解析にどういったことを期待しているのか。3点目は総合的な話として、超過洪水を含めた河道管理計画はどうあるべきかということについて議論したい。
- ・ まず①と②の観点で最初に議論をしたい。①については、技術開発を実際に取り組みされている大学の先生方にまずご意見を聞きたい。

【梶川先生（パネリスト）】

- ・ 流れについては、3次元計算手法はすでに成立していると考えてよい。ただし、流れに加えて流砂、流木等をどう評価していくのかについては、学術的に課題がある。

- ・ 実務に 3 次元計算を導入することについては、以前は計算容量、計算時間の面で課題があった。しかし、今はワークステーションがあれば実用的な範囲で十分検討可能な段階にきている。必ず 3 次元流れが発生し、それが重要と分かっている場においては積極的に 3 次元計算を使うのがよい。もはや 2 次元にこだわる必要はなく、目的に応じて 3 次元計算を使っていけばよいと考えている。

【柏田先生（パネリスト）】

- ・ 海外は商用コードを積極的に使って 3 次元計算の事例を増やしているという印象を私は受けている。それに対して日本は各大学で独自のモデルを開発して一生懸命やっている。それも大変素晴らしいことであるが、商用コードでもよいから 3 次元の計算を行い、事例を増やすことも重要。その先で課題を見つけ、独自のモデルを開発していけばよい。
- ・ 実務においても同様。本質的に川の流れは当然 3 次元であるが、やむを得ず無理やり 2 次元で計算しているという実情があるようにも思う。難しくても 3 次元のモデルをまずは使うというところでモチベーションを持っていただくのが、大変重要な第一歩になると思っている。

【福岡先生（パネリスト）】

- ・ 今回の田端さんの話題提供により、現在の河道計画で用いられてる解析レベル、課題等がある程度明確になったと思う。
- ・ その上で付け加えるとすると、今後、環境影響評価の重要性が高まるということがある。特に土砂輸送に関わる場合には、もはや従来通りの 1 次元解析、2 次元解析では対応しきれないと考えた方がよい。現場の実情に合った高次の手法の適用に努め、「今あるベスト技術をもって行った」ということを示さないと、世の中は納得しなくなってきている。
- ・ 都市の分野で 3 次元プラットフォーム (PLATEAU) が出来たように、他分野で 3 次元の導入が進む状況において、河川分野は出遅れているのではないかと。技術は出来てきているので、やろうと思えばできるはずである。柏田先生が言われたようにモチベーションを持つことが重要。
- ・ 全て 3 次元を用いるべきと言う必要はないが、必要なものについてはやらないといけない。従来法だけにこだわるのではなく、本当に求められる技術を明確にした上で、技術開発を促進する方向性を示していくべき。

【戸田（司会）】

- ・ 社会的要請として 3 次元は必要であり、一方、ツールとしても 3 次元は開発が進み、現地に適用できるようになってきた。

- ・ そのような技術を実務にどう使うか、何が分からないといけないかを田端さんは提示されたが、実務において、数値解析に期待していることについて、田端さん、三戸さんの方からコメントいただきたい。

【田端（パネリスト）】

- ・ 実務において、今や数値計算は有力なツールであり、大いに期待している。
- ・ 我々は数値解析を使いこなす中で、いろんな問題解決を図っていかなければならないが、現状として大きく2点ほど課題があると感じている。
- ・ 1点目はモデルの検証。現地では特に土砂の境界条件が未知量であるため、本当の意味で再現できているのか分からない。よって、例えば国総研等で大規模なスケールの移動床実験をやって、そのデータを公開し、モデルの検証材料として使ってもらう。実務に適用しようとするモデルは、このような検証を要件として課すといった仕組みも必要ではないかと考えている。
- ・ 2点目は手法の基準化。実務で用いる技術を基準化して管理することはやはり重要。河道計画等で2次元以上のモデルを適用する場合、メッシュサイズや粗度、境界条件等の設定法や考え方についての一定の基準のようなものを行政側から提示しておく必要があると思われる。今や、誰もが数値計算を出来る時代になってきており、今後、土木系以外の分野で流体を扱う専門家たちが我々のフィールドに入ってきて、思いもよらない計算結果を提示される場面も出てくるかもしれない。そのような結果を技術的に判断する際においても、「手法の基準」を持っておくことは重要と思われる。

【戸田（司会）】

- ・ 非常に大事なところ。例えば、球磨川で起きた洪水に3次元計算が使えるということは理解できるが、未だ経験していない他の河川に対しても使えることを、行政側がしっかりと提示していかないといけない。
- ・ 行政側として、どのモデルをどの程度のレベルで検証されていれば「使える」と判断するかという視点もあるし、技術の側もそれを埋めていくためにはどういう形で数値計算の確からしさ、信頼性を見せていくかということにも関わってくるように思う。

【福岡先生（パネリスト）】

- ・ 正論だと思うが、大型模型実験がなぜ必要かというのはもう少し整理するのがよい。例えば私たちが今まで数値計算に使っている流砂量式とかその他水理公式集に出てくるような式が、等流状態の実験水路を基につくられたものであることを今一度考えるべきである。現実の川の現象はそうではない。流れの方をいくら3次元で解いても、そのような流砂量式を用いる限りは、河床変動の方で狂ってきてしまう。すなわち流砂の運動形態が、等流状態の実験水路と河川とは違っている。実河川を模した相似性の高い大

型模型実験をやって、流砂量や河床の形態はこうなったということを示していただけると我々としても今以上に考えて流砂量や河床変動を現地に即して考えることが出来ると思う。

- ・ 数値計算屋は計算しかしないし、実験屋は実験しかしないので、お互い限界を持っている。スケールを大きくしたときにお互いどこに限界があるかを一緒になって議論することが必要。それを踏まえ、手法の適用限界、注意点等を理解していくことが大事。
- ・ 2点目の基準の話はある面では賛成だが、ある面ではそうではないのではと思った。自分たちがものごとを判断する時のルールや判断基準が重要であると思う。例えば気象業務法及び水防法の一部が改正となって、民間の技術が入り込むことになるが、気象庁はおそらくそれらを判断する技術力を持っている。
- ・ 河川においても、判断する側がある程度しっかりした技術力を持ってないといけないということが重要。高度なモデルだから何でも良いということにならないようにしていかないといけないと思って聞いていた。

【戸田（司会）】

- ・ 途中で少し流れを変えてしまったが、改めて三戸さんのほうから実務において数値解析に期待している点について、どういった観点でも結構なのでご意見いただきたい。

【三戸（パネリスト）】

- ・ 現在、「河道設計」について、マニュアルというか基準を整備できないか検討している。その中での数値解析技術について期待することとして、大きく3つほどあると考えている。
- ・ 1つは、手軽にできること。人員も時間も金も限られているという話もあるが、やはり数値解析を使って最適な対策の設計を考えていきたい。つまり、数値解析により現状を再現することに全力を尽くすのではなくて、最適な河道を設計することに解析技術を活用していければと考えている。
- ・ 2つ目は現状評価ができるということ、3つ目としては、将来の変化を予測、評価できるように数値解析を活用できないかということ。
- ・ HWLクラスの洪水が来たときに危ないかどうかを評価することも大事であるが、設計し施工した状態で永遠にその形を保つことは河川の場合にはありえないので、施工後の河道の変化も予測しながら最適な設計をすることが必要だと考えている。
- ・ 数値解析を用いて、現状の評価とともに、将来の河道がどう変化していくのか、更にはそれに対してどんな洪水を与えたときに安全かどうかを検証することができればよいと考えている。
- ・ 以前、戸田先生から、令和元年洪水で千曲川の流路が全く変わってしまったという研究事例を見せていただいた。平成七年の形状を見たらさもありなんとするが、流路が大き

く変わる可能性を、過去の経緯だけ見た状態で、平成七年も見ていたとしても、果たして自分に想像できただろうかと考えるととてもできないと思った。

- ・ 福岡先生から、ある一定以上の洪水が来たら、全然違う流れの挙動が発生する可能性があるというご説明があったが、ある一定以上の洪水が来た場合に大きくその河道の形状が変わるということを解析でしっかりと表現できれば、設計の方に反映できるのではないかという風に考えている。
- ・ 当然、3次元設計もされているが、目的が治水オンリーあるいは環境オンリーとなっているのが現状。ないものねだりかもしれないが、治水と環境の両方を踏まえ、例えば五年後、十年後の状況を予測しながら設計できないかと考えていたところであった。今日、先生方に話していただいた内容を見て、何とかできるんじゃないかという風に思えてきた。例えば3次元であれば水平方向のメッシュサイズを大きくとっても結果に大差ないこと等、実務への適用の面でも有益な知見が得られていることが分かった。そういった知見を活用していけるのではないかと期待している。

【戸田（司会）】

- ・ 大いに期待いただいているというコメントとして受け取った。そこをつなぐ意味でもやはり三戸さんが言われた五年後、十年後に設計した河道が維持されているのかということについて学や研究者側からアプローチするときに、田端さんが言われたような基本的評価項目は何なんだ？といったものがあると、それを満足する解析をもう少しきちんと議論できるし、それに要求される性能なり、あるいは全て3次元でなくてもよいのかもしれないといった話にも展開できるというふうに感じた。
- ・ 数値解析の現状と課題、あるいは実務から期待していることについて河川部会長の諏訪さんからもコメントをお願いしたい。

【諏訪（会場）】

- ・ 私が「今何か作って責任持って判断せよ」と言われたら数値解析ではなく模型実験を使うと思う。数値計算を使うときには、どこに限界があるかが分かっているといけないし、判断に使えないのではないか。
- ・ 数値計算をやると、必ず物理現象を再現したアウトプットが得られるのであれば喜んで使うが、適用限界があると言われると心配になる。再現してないとだめだとどこかでチューニングしてるとなると、どういうチューニングしているのか心配になる。この点はもちろん模型実験も同じであるが、数値計算に精通してない自分にとっては模型実験の方が扱いやすいと思ってそちらを選ぶだろうと申し上げた。
- ・ また、部会長としてじゃなくて個人としての意見であるが、他分野では民間がブレイクスルーしているケースは多々あるので、河川分野においても官が全部仕切る必要もないと思う。民間主導でのブレイクスルーがあっても全然構わない。

- ・ 数値計算技術の基準を作ると言うが、はたして作れるのかとも思う。一方で、基準がないと先に進めないということでもないとも思う。基準というのは、それを作り上げる際の議論や思考の脈絡や枝葉を切り落としたものになってしまうので、最終的に出来上がる基準そのものはそれほど重要とも思えない。本当に迫られれば使うと思うし、必ずしも基準が先がないといけないとも思わなかった。

【原田（会場）】

- ・ 去年の OS で、環境のことを考えると伐採や掘削の計画にせめて平面 2 次元くらいは標準技術とすべきであることを述べたが、今日はもう 3 次元でないと解けない現象がこれだけあるんだということを沢山見せていただいた。そうすると、やはり問題に応じて計算を使い分けるということをむしろ基本方針にしていただけると環境に対する議論も取り組みやすい。
- ・ 去年の河川シンポの後に藤田光一さんが現代河川工学の本を出されて、特に第 1 章のところに河川技術と河川工学をどう捉えるかという深いことが書いてあり、自分は一生考え続けなくてはいけない問題と思っている。つまり、計算できる、解けるということと現場でちゃんと河川管理の技術として使えるというところのギャップをどういうふうに乗り越えるかを考えなくてはいけない。おそらくこれは計算技術にずっと付きまってくる問題だと思うが、ある程度信用を得たものについてはどんどん現場に導入できるようにしていく仕組みづくりが必要だと思う。

【江頭先生（web）】

- ・ 例えば流れの 3 次元性をきちんとしないと解決できない問題というのはたくさんあるが、固定床の場合には、なんとか議論できるところまで来ていると思う。一方で、移動床は、いわゆる流れと流砂の境界をどう扱うかという非常に大きな課題がある。この重要な部分について、対数則で抵抗を決めている場合が多いが、これでは不十分と感じる。そういうところを皆さんきちんとやっていただきたい。
- ・ あと、3 次元流れをきちんと解いていかないと解決できない問題っていうのは構造物。流れと流砂と構造物、これら 3 者のインタラクションというのは非常に大事。3 次元の流れをきちんと解析し、それに対応する流砂を考えていかないと、ちゃんとした解析はできにくいと思う。この点について見通しがあればぜひご意見いただきたい。

【福岡先生（パネリスト）】

- ・ おっしゃる通りだと思う。境界面での流れと流砂の相互の関係を力学的に見ること、掃流砂と浮遊砂をどのように捉え、記述し、境界面形状を解いていくのかということが重要であるが、これらは課題として未だに残っている。今後、流れを 3 次元的に計算することだけでなく、河川構造物、例えば堤防、堰や河岸の侵食問題等を対象とする際には、

ご指摘のとおり単純に対数則等を持ち込んで対処したりせず、また、非静水圧分布の考慮等、本質的に現象に影響することを、十分認識して解析する必要がある。

【江頭先生 (web)】

- ・ ここ十年ぐらいろいろな論文見ても、これは面白いというものが見当たらないように感じる。数値計算はかなり進んだが、利用者に結びつくような、そういう研究になっていない。だから是非若い人を鍛えて、良い人材をたくさん作ってほしいと思う。

【大本先生 (会場)】

- ・ 水際付近では、コンクリートで護岸された河岸と移動床である河床で構成されているわけで、流れは当然 3 次元構造を持つ。コーナー 2 次流も含めて。その時、どんな現象が発生するかについてはよくわかっていない。室内実験では、固定床でのコーナー 2 次流についてはわかってきているが、実河川の中ではほとんど触れられていない。
- ・ 2 次元と 3 次元という点で言えば、2 次元というのは空間積分されるから要するになまってしまう。一方で、コーナー 2 次流は乱れによって生まれた 3 次元構造だから、それでは乱れとの突き合わせの中で考えないと議論ができない。現地では、護岸の底が抜けて河岸が崩落するという事まで起きている。そういう意味ではもっと高精度な解析法をベースとした議論が必要だと思っている。

【戸田 (司会)】

- ・ 時間が迫ってきたので、③ (超過洪水を含めた河道管理、計画、設計はどうあるべきか) まで含めてご意見いただきたい。

【二瓶先生 (会場)】

- ・ いろんな複雑な現象がある中で、かつ、未経験というか経験の少ない事象がこれからどんどん起こっていくだろうという中では、なるべく少ない仮定で現象を解けることが重要になる。流れだけではなく、河床変動を含めて。それは必須だろうと思っている。
- ・ 3 次元を含めて商用コードとかフリーのソフトウェアとかいろいろあるが、そういうことにとどまらず皆さんがモデル開発にどんどん参入して行って、その分野をどんどん太くしていく、どんどん多様な人々が様々なモデルを作ってその分野の研究を盛り上げていく必要がある。そういう意味で、学の役割は非常に求められるし、私自身もそういうことで一生懸命やっていかなきゃいけないかない。
- ・ モデルの中身を深くしていくっていうのもあるし、福岡先生もおっしゃっていたが「見方」を変えていく、例えば運動量だけじゃなくて、エネルギーで考えて行って、土砂の問題や構造物の破壊といった問題に対し、新しい観点を入れていくことがブレイクスルーをもたらすように思う。

【戸田（司会）】

- ・ 特に③の観点では、福岡先生から、構造物というものを考えたときに局所的な力で見るとじゃなくて構造物自体を壊す地震でいうマグニチュードとかエネルギーに相当するものを河道の中でどううまく考えていくかが今後重要になるというお話をいただいた。

【福岡先生（パネリスト）】

- ・ 一番本質的なところで、そこはこれから私たちの残された課題だと思っている。堤防について破壊しそうなところとか破壊したところとか多くの事例があるので、そのような箇所でもエネルギーがどうなっているかという視点でまず見て、事例を増やしていくことはできると思う。破壊現象は運動方程式で解いたものでは十分説明できないので、3次元運動方程式より求まる3次元水理量を用い、構造物の破壊問題を3次元エネルギー原理で考えてみると、こんな新しいことが分かると言えるような結果になるのではないかと期待している。

【戸田（司会）】

- ・ むしろこのやり方が良いというよりは、エネルギーとか新しい解析法とかそういったことをみんなが競い合って分野として活性化していかないと、技術が伸びる方向性が見えないというのが非常に大きい課題のように思われる。

【福岡先生（パネリスト）】

- ・ 二瓶先生の言わんとしたことはそのことで、私もそう思う。戸田先生が言われるように、現状の研究の活性化の必要性があり、新しい展望が見えづらく、皆で同じようなことをやっているように思える。もっと大胆にやってみたら、違う答えが出てくるかもしれないし、正しい答えに到達できるかもしれない。若い人たちがもっと新しい水工学、河川工学をやってみようという雰囲気を作らなくてはならない。

【内田（会場）】

- ・ このセッションでは、技術の進展に非常に前向きで議論されているので、非常に嬉しく思って聞いていた。よく「簡単な」とか「使いやすい」とか「わかりやすい」という話があるが、結局人がわかりやすいとかいうこと。少し前ぐらいは2次元解析もなかなか理解できなかった時代があったが、もう準3次元も大体わかるようになったし、3次元的なものの見方もされるようになってきた。こういう議論を積み重ねていったら多分3次元的なものの見方がみんなできるようになるだろう。河川シンポジウムでこういう議論をしていることを介して、皆さんと勉強していくことになれば良いと思っている。

- ・ 3次元的な流れに入っていくというのは非常に本質的。大本先生が言ったことに関係があるかもしれないが、2次元解析では3次元の渦がないので、平面渦などの大きな渦構造を除いて、乱流や乱流モデルにあまり注意がされたなかったように思う。しかし、3次元的な見方をしようとする、平均流と乱れの間エネルギーの移行が考慮されるようになり、乱流やサブグリッドのエネルギー消散を表す乱流モデルも重要になるので、今度はそういう大本先生が実験で見たような現象が本当に実際起きるのかといった詳細な議論ができるようになる。計算でそういうことについても見ていけると思う。
- ・ 最適な結果を得るためだけに、数値計算を使うのではなくて、数値計算の中でぜひ学んでいくという気概が出れば水理学が好きな人が増えるのではないかと考えている。

【溝口（会場）】

- ・ 日頃思っていることとしては、どの河川でも同じモデルで、どこにでも使えるようなモデルというのが重視されている一方で、地盤工学ではその場所の材料を持ってきて何々試験をしてこういう値を決めてっていうことをやられていることには、昔から違和感をもっている。地盤のように細かい試験を各場所でやらなければならないと思わないが、やはり地質を踏まえると土砂の問題は河川特有のものがあるので、もしかしたら今の流砂量式でもこういう方向に変えたら合うとかいう話が出てくるかもしれない。
- ・ 河川分野ではV and V (Verification and Validation) があまり浸透してなくて、応用力学委員会では地盤の先生だとか、構造の先生の中でV and Vの小委員会が立ち上がるぐらい数値解析の検証と妥当性の確認がすごく進んでいる。どういう現象にはどれぐらいのモデルでどういう方程式を使わないといけなくて、この現象を少なくとも再現できるモデルでこういうことをやってくださいとか、諏訪さんが基準はいらないとおっしゃっていたが、このモデルではこれが再現できますよ、そしてこういうことまではできますよという確認があった上で、使っていくことも大事だと思う。土砂水理については、特にその川の特有のものがきちんと解けるのかっていうことを確認しながら解いていくことが大事だと個人的に思う。
- ・ それとは別に、数値解析というのは解像度を上げればあげるほど、境界条件が効いてくるのでそこを大事に持たないといけないという感覚を持っている。3次元にすればするほど、取らないといけないデータが地形だけではなくてくる。
- ・ まだまだ多くの課題があって、いろんな人に入ってもらえないといけないので、数値解析を専門にしている人と議論したり、構造物を専門にしている人と議論したり、他の分野の方々にも入ってもらえるような間口を広げるような取り組みがあってもよいと思う。他の分野との意見交換ができればその若手を奪うぐらいの魅力を持って発信できる場があってもよいと思っている。

【泉先生（会場）】

- ・ 水工学委員長としての立場でちょっと話をさせていただくと、水文分野は今すごい人気があって、若い人たちがたくさん入り込んでいるが、その背景の一つには、いわゆるGCM（全球気候モデル）みたいな数値シミュレーションがもう当然のようにやられていて、実際に使われていることがあると思う。誤差がどうのこうのと言う以前に、そのくらい大胆なことを我々もしていいんじゃないかと思って聞いていた。若い人たちに興味を持ってもらうという意味でも非常に重要なことだと思う。
- ・ そのために、もう一つ大事なのはオープンソース。皆が同じようなソースコードを一から書くのではなく、誰かが書いたコードを改良することもできるようにしていく必要がある。GCMではそういうふうやってる。そういうことを我々もどんどんやっていくような時代に入っているのではないかという気がしている。そうして若い人たちをどんどん惹きつけるようにしていきたい。

【戸田（司会）】

- ・ 今日のOSではいろんなことを議論できたと思っている。特にやはり技術を伸ばしていく方向にポジティブに官学民それぞれが向かっていけそうだという議論ができたことが一番の実りだったと思う。そこで多様なやり方をつなぐためには田端さんが提示されたようなつなぎ目のところに何を目標に持ってくるのかというのが大事かと思いつながら議論を聞いていた。
- ・ 今日のOSでは、このシミュレーションを使いなさいというよりは、みんなでもっともっと技術を高めていく方向で合意したということが非常に大事なアウトプットと思っている。この辺のまとめは、オーガナイザーの間で議論して河川部会のホームページ等で後ほど公表できるように進めていきたい。最後にご発表、話題提供いただいた皆様に拍手を持って終わりたい。

以上