

大量の土砂と流木を伴う洪水氾濫の実態把握と必要な技術

～近年の中山間地河川で生じた大規模水害から学ぶ～

趣旨説明（オーガナイザー：柏田仁）

それでは、「大量の土砂と流木を伴う洪水氾濫の実態把握と必要な河川技術～近年の中山間地河川で生じた大規模水害から学ぶ～」と題しまして、オーガナイズドセッション 1 を開始したいと思います。私はオーガナイザーを務めさせていただきます東京理科大学の柏田と申します。どうぞよろしくお願いいたします。オーガナイザーは、画面に出ているようなチームで動いております。簡単に紹介だけさせていただきますと思います。京都大学の川池先生、国総研水害研究室・室長の武内さん、国総研河川研・主研の田端さん、日本工営から西口さん、同じく日本工営から田方さん、建設技術研究所・米田さん。こういったメンバーで議論をさせていただきます、今回の企画を整理させていただいております。

また、今前方にいらっしゃいますけれども、話題提供者として、富山県立大学の久加先生、法政大学の原田先生、土木研究所の大野主研にご参加いただいております。それでは早速ですが、本日の OS の流れについて簡単にご説明差し上げたいと思います。まず、私の方から趣旨説明、これまでの経緯について簡単に説明をさせていただきますと思います。話題提供は、先ほどの三名の先生方から、各々15 分程度話題を提供いただきまして、その後一時間程度のパネルディスカッションを予定しております。時間が前倒しになったので、少し議論を充実させられるとよいかなと考えています。

まず、本 OS の開催の趣旨と経緯についてです。先ほど河川部会長の堀江さんからご説明がございましたが、もともと特定テーマ A として超過洪水時の河道内の流動、あるいは堤防等の被災のプロセス、また、氾濫原等を含めて総合的な河川整備・管理の高度化に関する研究・報告を募集させていただきました。本テーマの議論は今年度で閉じるのではなく、来年度以降も論文を募集し、継続して深める計画です。特定テーマと一般課題の投稿論文を見させて頂く中で、投稿者・河川部会員も含めて「超過洪水」の定義が必ずしも共有されていないことが分かりました。計画規模に対する超過なのか、現況流下能力に対する超過なのか、また、流量と水位のどちらを基準とするのかが整理されていません。「超過洪水であるとそれぞれが考えるもの」を議論して発散してしまうことを避けるため、「超過洪水と考えられる事例」を共通の対象とし、多角的に分析することにしました。2024 年 9 月の奥能登豪雨では、同年 1 月の地震の影響も受け、大量の土砂・流木を伴う洪水氾濫が中山間地河川で発生し、甚大な被害をもたらしました。関連する投稿論文も多いことから、今回はこの事例を中心に議論します。

これまでも河川部会、そして河川技術シンポジウムとしては、甚大な被害をもたらした洪水がある度に OS、あるいは特別セッションを企画してきております。今、画面にある通り、横軸に年度を取っておりますけれども、紀伊半島の水害、矢部川、鬼怒川、赤谷川、小田川等、こういったイベントの度に、それに着目して議論を進めてきております。

中山間地河川に目を向けますと、こういった形で毎年のように大きな水害が発生しているような状況でございます。

そういった中で、2019 年に「境界領域」を対象とするようなオーガナイズドセッションが企画されました、その中では、画面左手側、山地流域から河道・氾濫までを一体的に取り扱うような治水計画が必要ではないかという議論。さらに右手側ですが、特に土砂量の推定とか、そういう境界条件に関わるような問題というのともあわせて考えていかないと前に進めないのではないかなという議論が 2019 年時点、もう七年前になりますけれども、そういった議論がされております。

それとほぼ同時かつそれ以降に関する論文を整理しております。今、画面には 2018 年以降にこの中山間地河川、大量の土砂・流木を含むイベントに対して着目して投稿された論文を列挙しております。

これを整理していただいた図がこちらになります。これは横軸に流路の縦断区分と書いておりますけれども、まず、右手が山地から溪流、そして谷底平野に入りまして、その先に沖積平野・沖積河川というような分類になります。さまざまな縦断位置においてさまざまな研究がされているのですけれども、現象の本質的な理解を試みるものであったり、評価、さらには対策を試みるようなさまざまな研究がございます。先ほど来、説明させていただいている通り、これらの河川では水だけが流れているわけではないということで、青色の研究は流水にのみ着目しているのですけれども、流水と土砂の流れに着目しているのが茶色いもので、そして緑のものが流木を解析あるいは観測等をしているものとなります。これらの原田先生、江頭先生のものが流木と流れ、そして土砂を一体的に取り扱われているものになります。あとは、群馬高専の永野先生も、混相流でそういった研究をされているということで、これらの複合的な影響というのが非常に重要であるというような指摘が多数されております。

その中で今ほど示した論文等を整理してみると、こういった関係性がありそうだなというような図ができております。まず右手側に、流れ（これはいわゆる流動、水の流れ）と、土砂の動態、そして流木の挙動。この三つが非常に複雑に相互作用をしながら運動を決定しているというような状況があります。さらには、流れは降雨があつて、それが境界条件となって流出して...ということですが、土砂と流木については、それらがどういったふうに山地から発生して河道に供給されて、というところが非常に問題になるということが言えるかと思えます。これらの解析を経て、洪水氾濫がどのように発生するのか、さらに、それが沿川の地域・家屋の被害にどう影響するのか、あるいは河道内の被災にどう影響するのかというのは非常に複雑であるということがまず言えると思えます。

また、これは中山間地河川に限りませんが、解析では定常状態を仮定して評価することが多い一方、実現象では土砂の堆積や流木の集積が時間的・空間的に変化します。したがって、その時間発展過程を捉えることが重要です。水・土砂・流木を一体として扱うモデルはどのようなものであるべきか、また、土砂量だけでなく粒径・比重・粒度変化をどのように考慮すべきかについて、さらに議論する必要があります。本日は、このような点も議論できればと考えています。

ここから、実際の事例を簡潔に紹介します。平成 29 年九州北部豪雨の赤谷川は、土砂・流木を伴う洪水氾濫への関心が高まる大きな契機となった事例です。上流域と支川から大量の土砂が流入して河道が埋塞し、その後、土砂・流木を含む洪水流が田畑へ広がりながら流下しました。

これに類似した現象が能登半島でも起こっておりまして、ここでは塚田川というところについて説明をさせていただきます。この塚田川では、橋梁部にかなりの流木が集まりまして、そこを迂回するような流れによって宅地が押し流されるというような現象も起こっていますし、もともとの流路が蛇行しているところをショートカットするような新しい流路の形成のようなものも見られております。

能登半島豪雨の概要を示します。解析雨量によれば、能登半島北部では 48 時間雨量が 400 mm を超える地域が広がっていました。輪島と珠洲のアメダス観測値について、複数の累積時間で再現期間を求めると、いずれもおおむね 100～300 年に 1 度の規模でした。この極めて大きな豪雨が、能登半島地震の約 8 か月後に発生しました。

こういった豪雨を受けまして、これは県管理河川の情報ですけれども、21 水系・28 河川において氾濫が確認されております。先ほどから説明している通り、北側で特に非常に強い雨が降ったのですけれども、本日話題提供いただくのがこちらの塚田川、南志見川、そして町野川水系の鈴屋川の 3 河川になります。これらについて久加先生からご講演いただくことになっております。

雨と氾濫の状況はこれまでの説明の通りですが、これらの河川の特徴を一つ明確にお伝えしておきたいです。能登半島を流れる河川ですので、非常に急勾配で流れているというのが最大の特徴です。塚田川

につきましては、これは 60 分の一の線がこれで、久加先生によると、平均的に 33 分の一という勾配ということです。南志見川もそれに続くぐらいの勾配で、鈴屋川は比較的緩勾配とも言えるかもしれませんが、いずれにしても、かなり急勾配の河川群ということになっております。話題提供をいただく皆様は、富山県立大学の久加朋子准教授、法政大学の原田大輔准教授、そして土木研究所の大野純暉主任研究員となっています。先生方よろしくお願いいたします。私から、この先生方のご講演の内容を簡単にこういった位置関係になっているかというのを共有しておきたいと思います。

本 OS で対象とするのは、令和 6 年奥能登豪雨の塚田川、鈴屋川、南志見川と、九州北部豪雨の赤谷川等です。久加先生は、LP データに基づいて、河道変動特性の河川間比較を行います。LP 差分を用いるということで、観測事実に基づいた研究となっています。原田先生は塚田川を対象に、流域から供給される水・土砂・流木のハイドログラフを推定し、それらが河道流・氾濫流と被害に及ぼす影響を数値計算で検討します。大野主研は、塚田川や赤谷川等の家屋流失地点の地形特性を事例分析し、河道埋塞の進行段階に応じて氾濫流と家屋への外力がどのように変化するかを水理模型実験で検討します。すなわち、久加先生と大野主研は観測事実・実態分析を主とし、原田先生は数値解析から議論を深める立場です。以上で趣旨説明を終え、話題提供へ移ります。まず、久加先生から発表をお願いします。

話題提供 1：久加先生

おはようございます。富山県立大学の久加です。令和 6 年奥能登豪雨における土砂・洪水氾濫を伴う流路変動特性の河川間比較についてご報告させていただきたいと思います。研究は、私、久加と、この春卒業してくれた学生の上田さん、京都大学の山野井先生の三人でやっております。奥能登地震は、まず最初に地震が 1 月 1 日に起こりまして、震央は能登の珠洲のあたりです。いくつかの地点で大きな隆起が起こっております。ただ、隆起は下流の方に集中しておりまして、今回対象とするところはそれほど影響はないということです。まず、地震における崩壊地と面積を国土地理院データからいただいたものを示しております。こちらを見ますと、地震による崩壊は鈴屋川で集中していることがわかります。次一方、半年後に起きた豪雨の方になりますと、鈴屋川、塚田川、南志見川で比較的崩壊面積が大きいことから、これら 3 河川を対象に検討を行ったということです。

こちらは LP データです。解像度 0.5m の LP データを提供いただきまして、流域全体の堆積量・侵食量を比較したものが左の図で、それを流域面積で割ったものが右の図になります。こちらを見ましても、地震と豪雨のどちらでも大きく崩壊した鈴屋川で堆積・侵食ともに非常に大きいということがわかります。また、右の流域比で見ますと、鈴屋川で明らかに堆積に比べて侵食が大きいというのが特徴のように思われます。鈴屋川の支川の画像もお見せします。まず河原田川です。この川は輪島に行くときに必ず通る道路の横にありますので、現地に入られた方は皆さん見たかと思います。

こちらにも崩壊地だった割には、最初に現地に行って、河川に土砂があまり堆積していないなと思いました。流木が引っかかって落ちている橋などがたくさんあります。下流では河積が足りなくて氾濫しておりまして、だいたい身長を超えるぐらいのところまで外水氾濫が起こっています。塚田川は、非常に低水路が土砂で埋没して大きく蛇行するというような、土砂が大量に出てきたような出水の地形をしていると思いました。少し拡大したのを見ると、大量の土砂と流木が比較的狭い河道の中に入っています。場所によっては川をせき止めてしまっている。こちらが南志見川です。南志見川は、どちらかというと言支川での氾濫や崩壊が多かったです。河積が足りなくて氾濫はしているんですけども、思ったほど河道内に堆積していない。下流に至っては非常に河床低下が進んでおりまして、家の下などが数メートルにわたって侵食し、河岸が後退しているような事例があります。

河積が足りなかったというのは、こちらの氾濫の支川の方は大量に土砂と流木がさらに出ていまして、このような形で、土砂・流木もこんな感じです。最後に鈴屋川ですけれども、これは鈴屋川の下流の方です。一見、土砂洪水氾濫したのかなと思われるんですけども、氾濫がメインです。下流の方は、土砂を含んだ大量の水が氾濫しまして、河道に関してはその場所で流れていますし、どちらかというと言河床低下傾向を、後ほどデータで示しています。河床低下と河道の中の堆積傾向のところを分けた橋が、この五里分新橋という少し下流側にある橋でして、ここに大量の流木と土砂が詰まっていた状況を確認しております。ここより上流は当時行けませんでした。しばらくしてから行けるようになりましたので、上流の方まで行ってみますと、本川には一箇所天然ダムがあります。

このような形で大規模な崩壊地がありまして、少し岩肌が赤いと思いますけれども、地質が塚田川や河原田川とは異なります。石を見ますと、非常に割れやすいというか、摩耗する石がこの流域に広がっております。次に牛尾川の支川です。牛尾川の方は天然ダムが結構できまして、大規模な崩壊を何回か繰り返したと思われます。もともと狭い谷地形だったところが広がって、4 メートルぐらい河床が上がるような状況になりました。その土砂も非常に特徴的だなと思ひまして、こちらが珪質泥岩と呼ばれるものがほぼ流域のすべてを占めているんですけども、現地に行くと、このように簡単に割れてしまっ、しかも非常に軽い礫で、これが流路を下っていくに従って、どういうふうに河床の地形に影響を与えるのかということが非常になかなか想像できないというか、難しいなと思います。

まとめますと、塚田川、鈴屋川、南志見川、あとは河原田川は少し省きますけれども、見ていきまして、いずれも大量の土砂が出たと地形データからは判断したんですけれども、川によって流路変動の応答が違うなと思ひまして、これを整理して比較していききたいというのが目的になります。利用したデータはこちらです。まず地質です。最初に砂が違うなと思ひまして、地質を確認しました。塚田川、南志見川、鈴屋川ですけれども、異なっているのは塚田川でして、塚田川の崩壊地がたくさんあった上流側は火成岩で構成されています。一方、南志見川と鈴屋川の崩壊地が多かった場所は、新第三紀の珪質泥岩が主な構成材料でして、非常に先ほどお見せした通り割れやすいし、軽い石質になります。実は 2018 年に北海道胆振東部地震で大規模な地震があったときも、あそこは火山灰で非常に軽い土砂がたくさんありまして、注目して、もしかしたら大規模災害が起きるかもしれないと思って準備していたんですけれども、大きな雨が起きなかったんで、その後のものはなかったということです。

今回は似たような軽い石で、同じような地震の後に豪雨という災害が起こったので、もう少し現状をしっかり見ていきたい。堆積量と侵食量のデータをそれぞれの流域で出しました。まず、流域全体について計算したのと、その後、谷出口よりも上流側を計算する。河川区間に関しては 50m ごとに低水路と氾濫域に分けて細かく計算を行いました。谷出口より上に関しては山地域と山地域河道のポリゴンを分けまして、それぞれで堆積量と侵食量を求めまして、全体の差分から通過土砂移動量として谷出口に与えました。その後は 50m 間で変動量を逐次、下流まで計算しまして、どれくらいの土砂量が洪水の最初と最後において移動したかを見たいということで、侵食量と堆積量の差分から 50m ごとに変動量を求めました。まず塚田川です。塚田川の河川区間は谷出口まで 2km ぐらいでした。非常に急勾配の河川でして、こちらに大規模な土砂が流入しまして、低水路が埋まって一部蛇行化するような氾濫が起きております。LP データから作りまして 50m 区間の堆積・侵食の図です。赤が低水路の堆積で、黄色が氾濫域の堆積、水色が氾濫域の侵食で、濃い青が低水路の侵食になります。比較しますと、上流から三箇所、大規模に堆積しているところがありまして、そこは河道が完全に埋まりまして、氾濫原まで土砂が堆積していることがわかります。青いところ、侵食がメインのところは新規流路ができたところになります。このナワテ橋と呼ばれるところの上流とか、石堂橋のところ。あと何箇所か、この家屋流出と書いたところが三箇所、下流から橋 A の近く、石堂橋の近く、橋 B の近くという三箇所ありますけれども、それぞれを比較しますと、一番上のところは蛇行流が発生したからなのですが、橋 A と橋 B は堆積、侵食の位置とは少しずれておりまして、少し現地の橋を見てみますと、まず橋 A と橋 B です。B の方はこちらに小さい流出しなかった背の低い橋がありまして、ここの狭窄部のところで水位が上昇したのだらうと思ひました。橋 A に関しまして、これも少し高台になっておりまして、ここの部分に橋に土砂と流木が詰まって水位が上昇したのか。ある程度、塚田川に関しては、地形データから被災状況が説明できそうだなと思ひています。次に鈴屋川です。鈴屋川は河川区間が 4.2km あります。途中で牛尾川という、非常に崩壊とか天然ダムがたくさんあった支川が入り込んできます。これは LP データの差分を示します。この図を見まして、まず気づいたことは、五里分新橋より上流、支川が入ってくる前の本川については大規模に土砂の堆積が起こって流路変動をしています。この地域は珪質泥岩と火成岩とが、私どもが調べた感じでは一対一ぐらい存在しているかなと。そこから橋 C から下流は一転して河床低下に転じるんですけれども、牛尾川は、こちらを示した方がわかりやすかったです。牛尾川の合流地点に、支川の合流地点が地震後崩壊となって緑のラインの下で、図の説明は先ほど赤と黄色と青の堆積・侵食は同じでして、赤いラインが通過土砂移動量で、谷出口から河川区間に向かって計算したのになります。この土砂が急に増えているところが牛尾川の支川になります。これを見て思われることは、上流域は大規模に流路変動しています。途中から支川から大量の土砂が入り込んでいるんですけれども、河道内で河床変動に収まっておりまして、大規模な変動に至っていないのが特徴的だなと思ひました。さらに下流に行きますと一転して河床低下傾向に転じまして、鈴屋川が最もたくさん土砂が入ってくるということを事前に想定しておりますと、大きな流路変動が起きたんじゃないのかなと思われたんですけれども、塚田川に比べてもかなり短い距離で大規模流路変動が終わって、一転して河床低下に転じているのが特徴的です。流入土砂量に比べて変動量が小さいなと現地でも思ひまして、これを地形データから説

明できるかと考えますと、すごく難しいなと思ひまして、今回、地質の影響がこういうのに効いているのではないだろうかと考えています。

最後になりますが、南志見川です。南志見川の LP データを示します。こちらの川はほぼ全線にわたって河床低下傾向でして、先ほども申しました通り、南志見川は支川からの土砂流入が大きかったのも、本川の方は土砂が不足している状況で、河床低下傾向に至ったのだろうと。こちらでも LP データの 50m ほどの差分値を示しますと、全体的に堆積しているところはほぼ低水路の中で示されていて、蛇行のショートカットが起こったところだけが氾濫域です。それ以外のところは、ほとんどが低水路と氾濫域を合わせた侵食で、土砂が河道の中にどんどん供給されていて、上流から来るものは不足していたのだろう。

三つを比較しますと、こういう感じになります。塚田川は堆積、侵食が交互に起こりまして蛇行化しています。鈴屋川に関しては、上流のところだけが大規模流路変動をしまして、下流に関しては大量の流入土砂が入ってきましたが、河道内で河床変動が収まっている。南志見川に関しては、下流に行くほど侵食傾向がどんどん大きくなっています。土砂地質に注目すると言いましたけれども、まだできていることは、現地の砂を取ってきて比較したということまででして、何が違うかと言いますと、まず比重が鈴屋川の珪質泥岩は 2 ぐらいで、非常に軽い。そして平均粒径、これを使っているのかどうか悩ましいところですけども、そっと割れないように配慮して粒度分析して、この程度の値ということです。実際はもっと小さくなると思います。水中に入れたときにふわっと崩壊してしまう土砂の割合が鈴屋川本川で 50%ぐらいで、支川の牛尾川は表面に見えているものはほぼすべてそういう状況です。今後、大規模出水とか中規模出水、小規模出水でもこのような土砂がどんどん出てくると思いますので、どういふふうな流路変動に与える影響があるのかというのを検討していくような実験とか、計算でできるのかどうかは今後検討だと思われまいますが、現地データ（一ヶ月に一回ぐらい撮影している SfM データ）を非常にたくさん北陸地方整備局からいただくことができるということです、比較していきたいと思っております。

まとめますと、着目点は、河川ごとに豪雨の流路変動応答が違うということ、最初現地で思ひまして、三河川を比較しました。南志見川、塚田川は、鈴屋川と比較しますと、鈴屋川が最も土砂が多いのに、流路変動が少ないということが気になりまして、地質ではないかということ考えたというのが私の発表になります。ありがとうございました。

話題提供 2：原田先生

法政大学の原田と申します。今日はこのような機会をいただきましたので、私の所の学生、あと東京理科大学のグループと議論しながら進めてきた研究についてご発表をさせていただきます。先ほど柏田先生にご紹介いただいた通りですけれども、私は数値計算を、あと、現地のいろんなデータ等を見比べながら、どういう現象が起こったか、数値計算が現地の現象とどれぐらい対応しているかなというところを注目しながら研究をしました。ここで非常によく合いましたとかいったところで仕方がないので、どういうところできていて、どういうところに課題があるかというところを中心にお話しさせていただきます。

塚田川というのは流域面積 7km^2 ぐらいで非常に小さい流域です。先ほど久加先生からご紹介いただいたように、非常に急勾配の川で、元日の地震で非常に多くの土砂とか倒木が河道に堆積していた。これに加えて、9月の豪雨で新たな斜面崩壊が上流で大量に発生しています。この豪雨によって、地震と豪雨起源の土砂等が下流の平野部へ大量に流出していて、そこで土砂とか流木を大量に含む洪水氾濫が発生しています。この写真ですけれども、結論から申し上げますと、この流れが画面下から上に向かって流れまして、橋が非常に低くなっていて、流木が大量に引っかかって、ここから閉塞してしまっただ。そうすると、もともとこの谷幅は狭くなっているの、流れとしては、道路側とか民家がある方に流れが集中してしまう。もともとこの上流側から氾濫してきた農地を通ってきた流れと、河道を流れてきた流れが合流するような形で、数軒ある家を流してしまっただ、非常に大きな被害が起きました。この状況は、団地の住民の方々撮影されているので、画像、動画データが非常にたくさん残っていて、理科大のグループが収集されています。例えば、右上の動画は9時34分の状態ですけれども、流木が非常にたくさん堆積して、これによって流れが迂回して家屋が流れていくというような状況が見られます。こういった土砂流木を含む洪水氾濫現象を解析して、その特徴を理解したいということが一つの目的です。それから、解析をするためにどういうことが必要で、解析した結果をLPデータの差分だとか痕跡水位と比較してどれぐらい計算できるかということを考えたいということです。まず山の状態からご紹介を説明したいんですが、塚田川の上流域の山を見てみると、まず、2024年元日の地震時に斜面崩壊が起きて、非常に多くの土砂が河道に出てきています。だいたい 14.4万 m^3 の土砂が算出されていて、河道に堆積した状態でした。なので、豪雨前に少なくとも $140,000\text{ m}^3$ の土砂が河道に堆積しています。

これは実は、この土砂は大半が流出しているということがLPの差分を見ると分かって、 $140,000\text{ m}^3$ の土砂が大量に堆積したところは非常に多く侵食されている。あと、支川に入ってくる支流もかなり侵食が卓越しているんですが、この山地全体で言うと、かなり堆積しているというような状況です。豪雨によっても多数の斜面崩壊が起きましたので、それによってたくさんの土砂が、河道にも入ってきている。LPの差分を見ると、この山腹斜面からの豪雨時の土砂供給がだいたい $220,000\text{ m}^3$ です。これは国土交通省のデータとほとんど一緒です。あと、流木についてもこの平野に出ていく。その谷の出口の地点です。その上流側で流木の発生量が大体 $12,000$ 本近い非常に多くの流木が流れていた。これは地震と豪雨を合わせた量だと国土交通省の推定でそうなっています。1平方キロメートルあたり 2500 本と非常に多いと思います。

平野部で何が起きたかという、迂回流によって多数の家屋が流出している。河道の流下能力はだいたい $40\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいで、出水時のピーク流量がだいたい 60 から $80\text{m}^3/\text{s}$ と今のところを推定されています。この橋の上流側のLP差分を見ると、上流の2、300mのところに、厚さ0m程度の堆積が起きているということがわかります。

どういう計算をしたかということに移ります。数値計算をするときに平野部の区間の上流側から時系列どれぐらい水と土砂と流木が流出しているかというのを求めないと計算ができないということで、流域から流出する土砂流木を時系列で求めるということをやっています。流域を十メートルメッシュに切っただ、流域内のすべての斜面セルで雨が降った時に斜面が安定するかどうかという安定解析を行っただ、崩

壊が発生するかを判定し、崩壊が発生すれば、それに伴って濃度が移動していく過程というのを計算しています。濃度が移動して河道に到達すれば、それは河道に流入した土砂として扱います。流域の中を単位河道という合流点から合流点を単位とする河道に分割して、単位河道の中の土砂輸送能力を求めて、降雨流出モデルを使って流域全体の土砂と流木の流出を時系列で得るというやり方をしています。これは、iRIC の中に搭載されています。

あと、流木ですけども、今回 10,000 m³ ぐらいの非常に大量の流木が算出されているので、従来のラグランジュ的な手法で一本一本を取ってというのはかなり難しいということで、流木を中立粒子だと仮定してオイラー的に解き、流木を濃度として扱うわけです。これを流域から出てくる流木の量の分析と、平面二次元解析でやるということです。こういうふうにして、流域からどれぐらい土砂等が流出するかというのを分析します。解析の条件としては、崩壊土石流の総量がだいたい 220,000 m³ になるように、粘着力と内部摩擦角を調整しています。ここにどうしても仮定が入ってくるとのことだと思います。あとは地震で生産された 180,000 m³ の土砂は、あらかじめ河道に設定しておくことにしています。その時に粒度分布を与えるが、ここもどうしても仮定になってしまう。これも実際現地で土砂を採取したりしてますけれども、その空間分布を完璧に把握できるわけではない。河道の初期河床には、現地の河床材料をそのまま与えています。流木発生量としては普通に計算すると出てくる量に対し、不足する残りは地震で出たものということで与えています。

地震による河道への供給を考えない、要するに流れのみの場合と、それから地震で河道に供給されたかどうかというケースと両方考慮したケースを比べています。まず山地域の計算がどれぐらいあっているかというのを見ると、河道の移動経路は概ね対応はしているんですが、実際の崩壊の発生位置が合わない。崩壊の特徴としては、非常に侵食深が深くて、だいたい 2-3m ある。これはこれまで赤谷川とか五幅谷川とか見てきたよりもかなり深く侵食しているかなと思います。このあたりも課題です。実際どれぐらいの深さが土壌が堆積しているかというのが分からない。このような山地域の状況になっています。谷の出口地点で得られたハイドログラフを見ると、崩壊発生ピークの 8 時 50 分から 9 時、9 時 10 分ぐらいが崩壊発生ピークになっています。そこから徐々に水が流出して行って、流木のピークが 9 時 20 分頃。谷の出口でそれぐらいの時間になっていて、時間的には大きく外してはいないのかなと考えています。次に、このモデルで得られた水と土砂と流木を境界条件として設定して、平面二次元解析を下流のエリアで行います。区間内の橋を設定して、水位が橋の高さに足したら、上から来た流木をそこへ全部捕捉させています。流木が捕捉されたら、そこは水が通らなくなるという計算にしています。これが計算結果ですが、流木と土砂を全部考慮した場合、9 時 33 分頃に橋梁がだいたい閉塞し始めて、9 時 34 分に最初の家屋流出が起きているんですが、だいたいこの時間に計算でも氾濫が発生するという事になっています。橋で拘束されて迂回が発生するという状況自体は再現できたと考えます。次にピーク流量時ですけども、ピーク流量はだいたい 10 時から 10 時 10 分ぐらいになっています。このピーク流量時の水位コンターとしては、河道を基本的に流れて、それから氾濫するのですが、河道と氾濫流がここへぶつかって、橋によって水面勾配がだいぶついて早い流れが発生しているということになります。流木の堆積コンターですけども、痕跡水位と比較すると、氾濫原が主流となって流れているように、見える。どうもこのピーク時に河道ではなくて、この氾濫原の左岸側というか、もともと畑があったエリアが主流になっている。この流れが氾濫に遷移するという状況は捉えられていないのかなと思います。ピーク流量時に土砂が河道に堆積するという現象をどれぐらい評価できているのかなというのを見ますと、ピーク流量時には河道には土砂が堆積していない。その結果、ピーク流量時に流れが変わっているところが捉えられていないというのが課題かなと思います。計算では、ピークが過ぎた後に徐々に河道の掃流力が低下していくので、それに伴って上から来た土砂が堆積していくということで、LP の差分の結果とはだいたい合いますが、これは土砂水理学的には水位、流量が下がってきて、土砂輸送能力が失われて、河道に堆積していくということが正しいのかもしれない。ピーク流量時の河道内土砂堆積を評価できていないのかもしれない。そこがわからないというところの課題はあります。結論としては、流域からの

水、土砂、流木の流出というものを計算して。少なくとも氾濫の発生時刻とか、土砂と流木がどれぐらい出てきたかの総量を合わせることができた。ただ、いくつかもちろん課題はあります。あとは下流の平面二次元解析をやった結果として、橋梁で流木が捕捉される現象があり、それから流れが迂回するということは評価できるわけですが、河道に土砂が堆積するということを今のところ、評価できてないので、そこを過小評価している可能性もあるかなと考えています。発表としては以上です。ありがとうございました。

話題提供 3：大野主任研究員

「河道埋塞を伴う中山間地流域における家屋流失評価に向けて」ということで、話題提供として発表させていただきます。現在土木研究所の方に所属はしておりますが、過去二年間、国総研の水害研究室の方におりまして、その成果について今日は話題提供させていただきます。タイトルにもありますように、家屋流失評価に向けてというところで、研究をしているところですが、具体的にまだ計算はやっておらず、現地の実態分析であったり、実験等から、いろいろ課題を見ていたところなので、その課題について、発表させていただきたいと思います。

まず研究背景ですが、先ほど、柏田先生ら各先生からありますように、平成 29 年の九州北部豪雨であったり、令和 6 年の奥能登豪雨等、中山間地河川で河積があまり大きくないところに、上流域から大量の土砂・流木が河道へ流れ込むことによって、河道がほぼ埋塞してしまって、それにより氾濫して家屋流失が生じると、甚大な被害が生じている状況です。こちら、下に洪水前と洪水後の赤谷川の航空写真と、右側に赤谷川の洪水前後における河床縦断面図を載せています。ポイントとしては、右側の航空写真、上が被災前で下が洪水後の写真になりますが、下の写真を見ていただくと赤で示す河道が橋梁とか流木につかかって、その背後に土砂が溜まって河道を埋塞することによって、土砂・水が流れ出たことによって、家屋流失が生じる。右側は河道の縦断を示しておりますけれども、青が洪水前の平均河床高で赤が洪水後の河床高をプロットしています。黒で河岸高を示しております、下側に黒い L のような所が下流に橋梁があって、これの橋梁等で流木等が詰まることによって、それらを起点として、赤で示すように赤と黒が一致するような、つまり、河床が河岸高まで貯まって、それが長い区間貯まるというような事象が発生しています。今回、以後河道埋塞ということで、発表していきますけれども、河岸高まで土砂が溜まって、それが、長区間貯まるというところを河道埋塞ということで、発表させていただきます。

これは塚田川の図ですが、塚田川でも同様にこういう事象が発生してしまっていて、令和 7 年 6 月の能登半島での大雨を踏まえた水害土砂災害のあり方検討会においても、そういう横断工作物等での土砂流木による河積阻害等の影響を見込んだ家屋との倒壊・流出のリスク評価手法の開発、リスク情報の提供について、研究開発に速やかに着手すべきであると示されています。次に、国総研で行われた実験の動画をお示しします。こちらは、赤谷川の河床勾配と土砂濃度を模して、単純な水路で下流側に堰を設けた時にどのような河床高の時間変化であったり、水面の時間変化が起きるかというところで、動画をお示します。上から水と土砂を流して、ここに堰があるのでありますが、どんどん水面が盛り上がり、それが上流に遷移していくことがわかるかと思います。

下にそのプロセスの模式図を示しておりますけれども、左側に堰があって、堰の上流側で堆積面が生じて、堆積面に伴って水位が上昇する。それがどんどん進行しますと、堆積面が上流に遷移する。かつ、それに伴って水位の堰上げ区間も上流へ遷移するというような事象が分かります。つまり、河道の流況が、土砂の埋塞が上流に延伸することによって、河道の水位が時々刻々と変化するため、その流量の時間変化だけでなく、土砂の埋塞過程の中でも、氾濫する場所が時間的に大きく変わっていくことを示しています。こちらは、数値計算の例ですが、平面二次元解析で氾濫なしの壁立て計算と氾濫あり、の場合の平面二次元計算で、水位と河床は実験と同じような条件で計算した結果になります。

着目してもらいたいのはこの赤枠で示している水位と河床高の分布と流量の縦断の時間変化を示しています。計算しなくても想像できると思いますが、氾濫原のように氾濫が生じると下流側で流量が低下する分、掃流力が一気に落ちます。それによって氾濫原ありの方が、河床高が河岸高まで一気に上がって、それがどんどん上流に延伸する。つまり、氾濫量をしっかり見込んで河道埋塞をしっかりと評価していけないと、氾濫量が求まなくて、家屋流失が生じるような高流速範囲というところが求まらないということです。洪水の非定常性であったり、土砂の非平衡性等によって家屋が流出するような高流速範囲が時々刻々と変化するという条件ですが、その評価には、例えば上流端境界条件として、

適切に土砂量のハイドグラフの与え方であったりとか、既存のモデルの妥当性等の問題があるので、そういうのが現状大きな課題であると認識しています。なので、本研究では、流木・土砂によって、その河道が埋塞することを想定した上で、家屋流失が生じるような地形的特徴であったり、流量規模、あと河道埋塞の区間の違いによって、高流速域の形成に与える影響について調べました。まず、流出した家屋の地形的特徴についてお示しして、その特徴を模した水理模型実験の結果についてお示します。こちらまず家屋流出した事例の分析ですけれども、今回行ったのは、平成 29 年の九州北部の赤谷川であったり、近くの流域の奈良ヶ谷川、北川寒水川、白木谷川の五つの河川において、家屋流失の事例を豪雨前後の航空写真から流出家屋を抽出しました。

結果、様々な流出形態があるんですけれども、まとめると、6 個程度のその分類が出てきたというところなんです。右はその分類の内訳を示していますけれども、例えば橋梁の近傍であったりとか、河道埋塞するとその氾濫原一帯で流れるので、例えば氾濫原のその線形が利くので、氾濫原の幅がその狭いエリアで家屋が流出していたりだとか、氾濫原におけるその相対的に低いエリアだとか、河道湾曲部の外岸側とか、氾濫原幅が急拡しているエリア、湾曲部の内側とか、このような事例分類ができました。今回は時間の制約上、この赤枠に示しているところを以下示します。こちらは、橋梁の近傍エリアというところで、下に示しているのは、豪雨前と豪雨後の航空写真を示しています。ここは流れが写真の上から下に流れていまして、この橋梁があることによって、橋梁で流木だったり土砂が詰まることで、上から来る洪水流が流れなくなってしまって、迂回流が生じるという典型的な迂回流のパターンです。右側は治水地系分類図を示していて、赤で示すような流出した家屋というのが氾濫平野にあったというところを位置しています。次は、湾曲部外湾からの氾濫というところでお示します。こちら豪雨前と豪雨後の航空写真を示しております。赤が流出した家屋で緑が流出していない家屋です。こちら豪雨後の航空写真を見ていただくと、この湾曲で橋梁を起点に土砂がどんどん埋塞して行って、水が流れなくなった氾濫流が氾濫して、赤色で示すようなところで流出しているところがあるかと思えます。一方で、河道に近いところで、流出しない家屋も多く見られていて、それはいろいろその地形の分布を見ると自然堤防等になっていて、少し高くなっていて、なので、その氾濫が水深が浅い流れなので、その氾濫原の微地形とが大きく影響しているというところなんです。治水地系分類図について見てみると、氾濫平野の中に位置しているというところなんです。次に、氾濫原幅が急拡しているエリアというところでお示します。こちらは、河道の幅はそんなに大きく変化しないのですけれども、氾濫原の幅が変化するので、そのジェット流のようなことになって、さらに横断的に流出する家屋というのが分布するというところが分かりました。ただ、この赤の後ろにこの緑のプロットが流出していない家屋があって、前面に家屋流出した家屋があると、その背後はそれで守られて、家屋連担しているところでは流出していない家屋も見られるというところなんです。

ここの事例分析から分析して、最後に治水地系分類図を見ますと、いずれも氾濫平野にあるので、氾濫平野の中に流出する家屋というのはあるというところなんですけれども、もう少し確度を上げると、氾濫平野の中でも、どういうところが、高流速域が生じるのかというところを明らかにするために実験を行っています。これは実験の水路の図を左に示しています。水路は先ほど示したような、例えば、湾曲だったり、氾濫原の幅が変化するような水路を作って、ここのところに橋梁を置いたりして実験をしました。流量 2 ケースで、河道の直線部で河道満杯となる流量と想定最大クラスを想定した流量の 2 ケースで、河道地形は様々で、何もない条件と河道埋塞がどんどん上流に延伸していくのですけれども、それを切り取ったような断面で実験をしています。具体的にこちらが実験の結果を示します。上が実験の動画で下が PIV 解析をして、表面流速の分布とそのコンター図を示したものになります。動画を流します。流れが右から左に向かって流れていまして、黄色いトレーサーで流れを測っています。この茶色い範囲で河道をほぼ全部埋めてしまって、実験をしています。実験はまず低い流量がこちらの図です。流量が大きい場合がこちらで、その結果の流量値を示したのが下の図でして、こちらは流量が低い方が、要は河道満杯流量の方が流速の最大値が大きく、その流速の範囲も大きいというところがわかります。この流

速のコンター値の見方として、流速値がだいたい 0.6 以上になると家屋が流出するような範囲になっています。なので、その範囲が想定最大よりも河道満杯ぐらいの流量で大きくなっている。これは水理的に言うと、ここに狭窄部を作っているので、バックが、流量が大きい方が効いていて、そのような結果になっているということです。次は、同じ流量で、土砂の埋塞区間を変えた場合の実験の結果をお示します。左側が長い区間で、堆積させた場合、右側が一部区間で埋塞させた場合の実験の結果をお示します。結論から言うと、長い区間で埋塞させると、今回は氾濫原幅が広がるような場で実験をしていて、その時に、氾濫原幅が広がると先ほど実例でも示したように、流れが拡散するんですけども、こういうふうに長い区間で、このような条件で埋塞させると、かなり広範囲に広がる。このような条件だと、こっちの左側よりはその範囲が小さいというように、土砂の埋塞が時々刻々と実現象では変わっていくわけですけども、同じ流量においても埋塞段階によって高流速域が全然変わってしまうというところが分かりました。次に、土砂を埋塞させない場合の実験動画をお示しますけれども、これは、かなり湾曲のきついようなところで水だけ流した場合の実験の動画をお示しますけれども、ここの屈曲部ですと、内側で剥離が生じて、死水域が生じている。さらにこの湾曲部の外側では、こちらの右に図に示すように、上から流れてきた流れが、この屈曲部に衝突して局所的に水位上昇を起こして氾濫するというような事象を起こしています。流量としては、直線部では河道の満杯流量を流しておりまして、つまり、その直線部では河道満杯で流していても、屈曲部では氾濫してしまう。なので、中山間地では、屈曲部が多かったり河床の抵抗とかも下流域よりも大きいので、そういうところの流下能力の評価も課題であるんじゃないかなと個人的には認識しています。

これまで家屋の外力側のことについて、いろいろ示していききましたけれども、実際に家屋流出を評価するとすると、家屋の耐力側の評価についても問題でして、例えば家屋が密集していたりすると、背後では流出しにくい。あと、今回家屋の流出事例について赤谷川や塚田川で調べたりしている中で、こういう家屋の周りに生け垣だとか、ブロックがあると、一階はやられてても二階はやられてないというような事象が結構ありまして、家屋流出の定量的評価には、こういった影響が必要であるというところ、と、実際、氾濫原平野はますべて危ないというところになるかもしれませんが、例えば、そういった時に、全てを宅地かさ上げするとか集団移転にするとかということではなくて、ブロック塀とかによって減災効果があるのであれば、そういう 水理的現象についても調べていく必要があるんじゃないかなと思いました。

最後に、まとめと言いながらまとまっていないような文章を書いていますけれども、家屋流出を評価するには、家屋の配置状況だったり、耐用年数の影響はあるけれども、個人的にはその家屋に対する外力の評価が、とても大きな課題であると思っています。家屋流出が生じるような高流速域の発生地というのは河道埋塞過程で大きく変わる。あと、屈曲部では局所的に水位上昇と中山間地河川では、下流域よりも流れの三次元性が大きいので、従来よく使われる計算手法では、そういう流況、河道埋塞を十分説明できない可能性があるんじゃないかと。一方で、その中山間地河川では観測データも少ないので、洪水中の水、土砂の流れ方の解明に資するようなデータの蓄積もすべきであるではないかと思っているのと同時に、その洪水中の現象については、実験を積み重ねて、一つずつやっていかないといけないんじゃないかなと考えています。下に個人的な見解ですがと書いてありますが、いろいろ課題はあるんですけども、例えば、想定最大規模の豪雨時を想定するのであれば、河道埋塞は生じるものとして、家屋流失、高流速域範囲を把握するというのも一つあるんじゃないかなと思っております。最後にというところで書いたんですけども、先ほどその柏田先生らが相関図を書いたのと、かぶってしまったんですけども、河道の流れと氾濫流と河道埋塞というのがあって、例えば河道の流れというのはその局所的に水位上昇が起きたりとかというところがわかったというところで、それを持って、氾濫流を解くときには、それを境界条件として氾濫流を解くので、その河道の水位を解かないといけないという、三次元性をちゃんと加味しないといけないというところで、氾濫流を解かないといけないと。河道埋塞については、その氾濫量を精緻にちゃんと求めないと、その下流側の河道の流量というのがわからないので、そ

れによって掃流力とかの評価がちゃんとできないので、河道埋塞プロセスもなかなか追えないというところで、河道の流れと氾濫流と河道の埋塞というのを一体的にその評価が必要だというふうに思っています。ただ、どういうふうにこうやっていけばいいのかというところが、なかなか検討もついていないところもありまして、この後議論させていただければと思います。以上です。

話題提供内容の整理（オーガナイザー，柏田仁）

ありがとうございました。今いただいたご発表を先ほどの相関図に組み入れて整理したいと思います。

久加先生のご発表では、三つの河川を対象に土砂の堆積、あるいは洗掘の状況を整理されておりましたが、土砂動態がなかなか違うということが示されていたと思います。この図で言うところの土砂の性質がなかなか違うわけですが、比重であったり、粒径の変化のしやすさなどが重要になるということが示唆されていたのかなと思います。

原田先生は RSR モデルというのをを使って土砂、流木、そして水のそれらのモデルの統合を図られておりまして、さらにはそれが被災にどう影響しているのかというような考察もされているということで、これらを網羅するようなことにチャレンジされていると見ております。ただ、実際にその土砂の堆積の過程だとか、そういったところかなりの困難があるということが示されておりました。

さらに、それに対して大野さん、先ほど、実験と現場の状況の分類というのがありましたけれども、その実験を見ると、堆積の状況の時間発展というのがその流動の機構を決めるということで、まさに原田先生が難しいと言っていたところが重要だということが示唆されているのかなというところでございます。

今いただいた話題提供の内容も含めまして、ここからパネルディスカッションに移っていききたいと思います。ここからはパネリストとして今と話題提供いただいた三名の先生方に加わりまして、国土交通省の水防企画室 室長である麓様にもパネリストとして加わっていただきたいと思います。ここからの進行はモデレーターとして、国総研・水害研究室の武内室長にお願いします。どうぞよろしくお願いいたします。

総合討議の導入（モデレーター，武内慶了）

国総研 武内です。よろしくお願いします。

総合討議ですけれども、我々いろいろ議論はしてきたのですが、今回 4 つのトピックを整理しました。ここに書いてある通りですけれども、私、先ほどのご発表を聞いていて、一番大事というか、ネックの部分は川の計算をするという場面において、境界条件で与える土砂の粒径とその粒径ごとの $Q-Q_s$ 関係というものがわからないというのが最大の問題なのかなと思いました。それに関して原田先生はその川に与える境界条件を突破して、現象の境界条件を山に置いたというのが原田先生の面白いところなのかなと思います。 $Q-Q_s$ の B の中に比重の効果というものをいれておかないと、川の河床変動に大きく影響を及ぼすような要因なので、ここをちゃんと調べていかなきゃいけませんよね？というのが、久加先生のご研究から指摘されるようなことだと思います。大野さんからはその $Q-Q_s$ が分かったとして、洪水中に長い河道区間でこんなに短い時間の中で川が埋まってしまうという変化過程の中で、氾濫流の流向がどんどん変わっていくと、仮に同じ流量であっても川の埋まり方がどんどん進んでいくために、氾濫の流況がどんどん変わっていくということを考えなきゃいけないんだよというのが大事なのかなと展開ができるなと思います。したがって、その境界条件となる B と $Q-Q_s$ が一番ネックなのかなと思いながら聞いています。では、粒径ごとの $Q-Q_s$ がわかったら、河道技術として、例えば大野さんがやっているような家屋流失というもののというのがちゃんと評価できるようになるのか、というのがまず、私に分らないところであります。それさえわかればできるような技術が整っているのですか？ということがまず一つ。あとは分かるため、その境界条件が分かるためには、それなりに多分時間がかかると思います。それまで指をくわえて待っているのですか？という議論が二つ目。わからないなりにできる技術というのはないのかということこそ是非今回のパネルディスカッションを通して、いくつかを抽出できたらいいな考えています。

総合討議 1：分かったこと・分からないこと・ギャップ

武内慶了（国総研，モデレーター）

第一のトピックは、今回の水害調査、解析、実験を通じて新たに分かったことです。だいぶご発表で説明していただきましたけれども、改めてご紹介していただこうと思います。で、新たに分からないということがわかったことは何かということで、それはそれぞれのご研究の中からもう一度おさらいできればと思っています。あと、それぞれお三方のご発表を踏まえて、実現象、実験計算のギャップは何かあったところもあわせてコメントいただければと思います。ではまず久加先生からお願いします。

久加朋子（富山県立大学）

ありがとうございます。また、実現象・実験・計算のギャップは何かというところ、私、今回計算までまだ至っていないんですけれども、現地を見ていて、川の流路変動の特性が違うというところをまずは分かったと現場から分かったと。これを実験に持っていくところは今後の課題ですけれども、現場のことはわかったんですけど。鈴屋川が珪質泥岩で大きな流路変動が起こらなかったからといって、比重が軽いから安全だと別に思っているわけではなくて、大規模出水では、海まで流出しましたが、中小規模だったらまた違うかもしれないとかそういう自分の中で頭の中でこういう流路変動が起こるのではないかなって私がまだイメージできていないところが計算に行く前の問題だと。計算をやりまして出てきた結果を判断するものが自分の中にまだないので、まず実験しないといけないと思っています。なので、モデルに関してもその予想がないと、ただ計算しただけになってしまうので、もうそれを持たれている先生もいるのではないかと思いますけれども、私はそこは自分の中で足りないところであり、実験して見ていきたいなと思っていますところなんです。

大野純暉（土木研究所）

二点あると思います。

まず、調査・解析・実験を通して新たにわかったことですけれども、私は結構実験、実態分析をやらせていただいて、特に実験をやっていたのですが、今回はお見せしたケースは限りがありましたが、いろんな河道の堆積条件を変えて氾濫流を流してみたところ、高流速域が同じ流量でも結構変わっちゃうというところで、埋塞の段階によって全然変わってしまうであったりとか、あと、流れも、結構条件、詳細に言うと、射流の条件でやっているのですけれども、射流でかつ三次元性も大きくて、水が跳ねて氾濫するような事象が発生していて、そういう水が跳ねて氾濫するような氾濫流量フラックスみたいなやつをしっかりと評価しないと、氾濫原のリスク評価に不確実性の少ない氾濫原の評価というのがなかなか難しいのではないかと実感があります。

実現象、実験、計算のギャップというところなんですけれども、私も計算の方はやっていないので、実現象と実験というところのギャップですけれども、実現象と実験というところで、実際は水、流木と土砂のま 3 つのものがあって、それがそれぞれハイドログラフを持って流れてくるという現象ですけれども、今回の実験でも全部固定した条件でやったのですが、それがそのどのタイミングで来るかによっても多分その流速というか流況が変わるというところで、実現象というのも、実現象のギャップは何か書いてございますけれども、そもそも実現象がよくわかんないというのもあるので、個人的には、まず、最後、私のスライドのまとめでも書かせてもらいましたけれど、そういう中山間値のデータが少ないところで、水位計を置いたりとかカメラで氾濫流況を図ったりとか、実態をいろいろ蓄積しないとそもそもギャップというのもよくわかんないんじゃないかなというところを感じました。以上です。

原田大輔（法政大学）

今、大野さんからあったように実現象がどうだったのかというのが、非常に難しいところですよ。私の今得られる限りのデータで水位計が途中で止まっているやつと、それから、時系列的な変化というのは、動画が記録的に取られていたものとかをよく見るとかそれで流速とか、少しわかったりはしますが、あとはもう前後の LP データぐらいしか得られる情報がない。実現象がどうだったかというのは、非常に難しいところはあると。で、新たに分かったこととしては、事後の計算をしているので、山の方でどういう崩壊が起きて、その崩土の移動はどういうふうにあるか、例えば経路だとか、それから総量を合わせるということは、比較的容易にできている。経路はごめんなさい、合わせてはないですけど。総量を合わせた結果、どういうところで侵食、どういう堆積が起きているかは、はある程度山の方は今のやり方でも計算できるのかなと思っています。

あと、流木が流出してくる過程もその崩土の移動経路上にある流木、立ち木が倒木となってそのまま流出していくという過程も、それは、そんなにそこまで大きく外してはいないかなと思っています。新たにわからないということがわかったことは、時系列の中で何が起きているかということが、非常にデータが少ない中で、どう考えるかというのは難しい。総量のボリューム積分値としてはあるとしても、その中の微分値の中で時時刻々何が起きているのかというのは計算はできるのですが、ここは難しい。あと、粒度分布とか流砂量式とか、そここのところが、もうちょっと感度分析をしたりすれば、よかったかもしれないですけど、そこら辺も非常に難しいなと感じているところです。

武内慶了（国総研，モデレーター）

ありがとうございます。実態を丁寧に見てきた久加先生の成果と、実験により実現象として何が起きているのかということ透かして見ようとした大野さんの研究を踏まえ、原田先生に伺います。計算上、ここまでだったら考慮できそうだな、これは無理だなというようなものはありますか。

原田大輔（法政大学）

計算上、考慮できそうということ、例えば、ある程度土砂の比重がわかっているのであれば、比重は流砂量式の中に組み込むことができますとか、そういったことはあると思います。また、あとは実験でどれぐらいのことが起きていて、それをどれぐらい再現できるかという、そういう計算も非常にチャレンジすべきだなと思っているんですが、そういうことはできる一方で、組み込めるんですが、結局、今回のような大規模な崩壊が山腹のいたところで生じたときに、どういう土砂が出てくるのかというのは、それはそれで難しい問題なのかなと思います。

総合討議 2：目指す世界と現場での活用

武内慶了（国総研，モデレーター）

それぞれの今日ご発表いただいたご研究を通じて、目指しているものはどんな世界なのだろうかというのをまずお聞かせいただきたいのと、それに対して現状の技術水準は、どういうレベルなのですか？と。現状の水準で考えたときに現場で活用できそうな場面についてアイデアをお出しいただきたいというのが今回の趣旨です。これも久加先生からよろしくお願いします。

久加朋子（富山県立大学）

今回北陸で災害が起こったので、まず現状を把握をしたいというところが一つなので、かなり時間をかけて各河川を見ました。目指すところは、災害対策なのか、個人的に研究として興味があるというところと。どちらの方が比重が多いかは分からないですけれども。軽めの土砂がたくさん入れたときに、どういう風な流路変動が起こるかという基礎的なことを含めて知りたいと。その背景は以前に北海道胆振東部地震があったときも、同じような軽い土砂がたくさん出てきて。実験まではやっていたんですけど、その後、止まっていた部分もあるので、その当時は能登の軽石質土を使って実験していたんです。実際軽石があるところで地震が起きて崩落したということで、つながることができると思うので、そこを比較しながらもう少し調べていきたいなと。現場でどう使えるかというのは災害復旧とこの研究の時間差があるので、難しいところではありますけれど、まだ上流にかなりの崩壊土砂が残っており、溪流がもう五メートルほど埋まっている状態で、それが出てきても河床低下は進み続ける、そういう流路変動に至るのか至らないのかというところは調べたいなと思っていますし、どれぐらいの流量だったらどれぐらいのボリュームの土砂が出てきそうかと、そういう基礎的なところをやっていきなと思ってしています。

大野純暉（土木研究所）

まず目指すものですが、それは私の方のテーマにもある通り、氾濫原の中山間地流域の家屋流失をなるべく不確実性の少ない範囲で定量的に求めたいというのが目指す目的です。ただ、それを今の段階で、どのような活用の場面があると言われてしまうと、まだ何もわかっていない状況なので、何か役立つというところは構想はないです。ただ、思うのは、流域全体、すなわち、山地から河口まで、水や土砂の動態を把握して、そういう流域対策、減災対策につなげていくということを考えると。当然その中山間地流域でも、そういった水を流すのか、それとも溢れさせるのか？みたいなときに、そういう定量評価が絶対必要だと思いますけど、先ほど私が示したようなスライドのように中山間地というのは、下流よりもそういう三次元性が大きくて、土砂流木もいっぱい流れるというところの評価というのは今後大事なんじゃないかなと思っています。以上です。

原田大輔（法政大学）

目指すものということで。ハザード予測、こういう土砂・流木を多量に含む洪水氾濫を事前予測できるか、事前に評価できるかというところを目指さなきゃいけないなと思っています。その時に、先ほどから武内さんおっしゃっているように、山からどういう粒径のものが、この流量が来た時にこの土砂が出てくるという、その $Q-Q_s$ 関係と、流木がどれぐらい出てくるかと、山地からどういうふうに出てくるかということがわからないというのが最大のネックになっているとは思っています。その中で、今それは事後で評価することはできるのですが、事前に評価しようと思うと今の技術ではそう簡単ではないなというのとも思っています。一方で、じゃあ今の状態で何ができるかというと、例えば赤谷川ですとか呉服屋川ですとか、今回の塚田川もそうですけど、いくつか起きてきたような土砂・洪水氾濫の $Q-Q_s$ 関係なり、流木の時系列というのを、総量があっているという一つの材料のもとにどういう $Q-Q_s$ 関係に

なっているかというのをいくつか計算結果として出していくというのは、一つそういう方向があるのかなと思って、私が例えば計算しているものですか、他の研究者の方々が計算しているときに、どれぐらいの時系列の中でどのような計算結果になっているかというのが、計算結果ではあれど、上流端の境界条件を決めて、そこからは我々河川技術としての流れと土砂の計算、流木も含めて、そういうのができるようにっていくんじゃないかなという。そこをどう考えるかだと思います。

武内慶了（国総研，モデレーター）

ありがとうございます。麓さんに伺います。大量の土砂・流木が洪水とともに供給される中山間地河川を対象として、現在どのようなリスク情報を提供しているのか、またどのような課題を認識しているのかをお聞かせください。

麓室長（国土交通省水防企画室長）

水害のリスク評価としては、想定最大規模の降雨に対して浸水範囲を示す洪水浸水想定区域制度があります。これまで洪水予報河川・水位周知河川の約 2000 河川を対象に浸水想定区域を指定しておりましたが、令和三年の水防法改正で住宅等の防護対象のある全ての一級、二級河川で洪水浸水想定区域を指定することとなって、令和七年度ですべて河川、約 19,000 河川で指定が完了しているというところでございます。

この中小河川の浸水想定区域については、「小規模河川の洪水浸水想定区域図作成の手引き」を参考に算出することになっています。先ほど対象となる河川が 19,000 ほどあると申し上げましたけれども、多くは都道府県が指定する河川となっていて、多くの時間やコストも要することに加えて、入手できるデータも限定的であるということを勘案して、できるだけ簡易な手法で算出することとしており、手引きでは一次元不等流で算出することとしています。一方で、今日ご指摘のありました、土砂や流木による水位上昇や氾濫域の増大を定量的に評価する手法は、研究開発途上であったこと、当時、令和元年東日本台風の豪雨により洪水予報河川・水位周知河川以外の小規模河川でも水害があり、水害リスク情報の空白地帯をなくすことを早急に対応する必要があったことから、これらは課題と認識しながらも、手引きには反映できておりません。まさにこれは国交省としても取り組まなければならない課題と認識しているところでございます。

総合討議 3：必要な河川技術・データ

武内慶了（国総研，モデレーター）

それぞれ皆さん、到達すべき場所というもののイメージを持った上で研究されているのは当然ですが、このまま研究、成果や技術をどんどん上げていくために、つまり、現象、被害を明らかにしていくために必要の河川技術やデータは何かということで、こういうデータを取るべきだとか、こういう調査をすべきだというものがありましたら、それぞれご意見をよろしくお願いします。これは原田さんから行きましょうか。

原田大輔（法政大学）

必要な河川技術やデータということで。データの密度としては、特にその水位計の密度というのは、この数年は非常に上がってきているというのはものすごく実感しています。今回の塚田川のような小さい川でも一応水位計は入っていて、途中までデータは取れていました。ただ、これぐらいの災害になると、どうしても欠測が多くなっていて、ピーク時が取れていなくて、それが非常に惜しいというか。なんとか大きな洪水に耐えられるような観測ができるような水位計にならないかなという期待もあります。

また、データの話ですが、例えば LP データとかを災害前後に取られるようになって、すごく貴重なデータになっていて、とてもありがたいと思っています。欲を言うならば、ドローンを飛ばしたり、カメラを飛ばせば、出水の水位が低下してきている時でもいいんですけど、流速分布とか水位の情報というのは一気に取れる。例えば、表面流速だけでも STIV を実施すれば相当のことが分かるようになってきているので、その流量観測をするのと同じぐらいの勢いで動画を撮るという。動画を撮って、この水面とか流れの情報を得るということが一つでも進めばと思っています。とはいえ、一級河川ではなくて、中山間地の河川でそれを実施することはなかなか簡単なことではないというのはもちろん理解しているんですけど、今、国土地理院さんがドローンでよく画像を撮ってくださっていて、非常に貴重なデータだと思っています。水工学として、この現象を再現して評価するということに、その流れに関する情報を簡易で密度の高い情報として、ドローンで動画を撮っていただくということなのかなと思っています。

大野純暉（土木研究所）

必要な河川技術やデータということで、特に中山間地で大量の土砂・流木が流れてくるというところで、その現象がこれまでの河川技術でいろいろやられてきたような現象より一段階上というか、かなり非定常性や三次元性も大きいような印象なので、観測や解析とともに、ブレイクスルーを図らないと難しいのかなと思っています。特に計算をする上でもデータというのが重要で、その妥当性とかを確かめる上でデータが大事なんじゃないかなと思っています。先ほど原田さんがおっしゃったように、そういう水位のデータだったり、ドローンとかを使うというのと、最近ですと柏田先生が能登半島の塚田川等でスマホの映像から、流動現象を分析されているように、スマホだの情報だったり、ドライブレコーダー等の情報や店舗の防犯カメラなど、いろいろ駆使しながら、そういうデータ集めて、いろいろ映像を分析して、現象を解明していくのと同時に、そういうカメラとかも設置していかないといけないんじゃないかなと思っています。

一方で、家屋側の情報として、耐用年数だったりとか、築年数という情報も当然評価するときには大事になってくると思います。そういうデータって、航空写真やグーグルアース等から、これが古そうとか、新しそうというのは分かるんですけど、具体的に耐用年数が分かるようなデータだったりとか、その耐力の評価ですよ。実際にその耐用年数とかいろいろ分かっても、じゃあそれがいつ壊れる、どの力で壊れるのかみたいな評価も当然大事になってくるんじゃないかなと思っています。以上です。

久加朋子（富山県立大学）

H は途中でなくなっている河川が多かった、 H はギリギリありましたけど、 $H-Q$ の式はなくて。雨から原田先生みたいに流出計算されれば、流量が一応出せる。私も共同研究者に山野井先生がいるので、まず $H-Q$ らしきものは作ったとはいえ、精度はよくわからないなというところですよ。特に今回県河川ですが、 $H-Q$ があれば嬉しいなって思います。 H は今、たくさんの川についていると思いますけれども、手間かもしれませんが、 $H-Q$ まであったらとても助かるなと考えます。河原田川とか町野川とか比較的大きいところから見に行き、すぐに計算を始めてみようかなと思ったのですが、比較的、砂州よりも水面の方が割合の多い川でして。今日発表しました塚田川とか、南志見川とか、鈴屋川は砂州の方が多いので LP で差分を取りましたけど、水面の方が大きい川は LP だけだと苦しいなって思っています。今、国管理河川はもうほとんど ALB があると思いますけれど、国の範囲を逸れたら、もう測量をしないところが多いので、ちょっとだけでもいいから取ってくれたらいいのになって思います。そんな贅沢を言わなくても、今すぐデータが揃ってしまして LP もすぐ頂きましたし、衛星画像だって無料で出ていましたし、雨の情報もすぐ入ってくるのですごいなと思ってはいます。ただ、今回の現地データを一生懸命見て、計算していないというのは、最初にそういうところのネックがあって。先に現地データを見る方から入ったということです。

武内慶了（国総研，モデレーター）

今いろいろこう水位計であるとか、基本的な情報を高密度にしていかなないと河川技術の進展が見込めなそうだというような課題はあったのかなと、僕の拡大解釈かもしれませんが、そういうふうに理解をしたんですけども、国交省として、こういった中山間地域も含めて、どういう計測の充実を図ろうとしているのかという点、もし分かれば。久保さんでよろしいですかね？

久保宜之（国土交通省河川情報企画室長）

河川情報企画室長の久保です。聴衆側で失礼します。まず、順を追ってお話ししますが、水管理・国土保全局の補佐、課長たちがデジタルトランスフォーメーションを考えるワーキングを持ってまして、15年、20年先はこんな河川管理だというショート動画を公表しようとしています。その中で、まず、今の質を落とさないというのはまずミッションなんです。今の観測であるとか、点検、巡視、そういった河川管理というものを、ある意味、人手の問題もありますし、技術の問題もありますし、そういったものの質を維持するために、今のままじゃもうまかりならないという危機感を持ってまして。そういうところなので、国の管理のところは充足速しているというか、体制を拡充してやっているところを維持するというのを。例えばその中の絵には何が出てくるかというと、ドローンで遠隔監視をしながら、何かがあったら四足歩行ロボットでも見に行くというようなこともイメージをせざるを得なくなっている。これを究極に進めていくと、今やれてないこともできるようになると考えてまして。そういう意味で、その研究開発のためだけにということではなくて、長い目で見ると、そこの進捗が現場であるとか計画に返ってくるわけですけど、そういう風に、こういう状況を把握する、情報やデータを取ることの重要性は、理解しながら戦略を練るべきだと思っています。

今、水位計の話もされたのですが。危機管理型水位計も相当置いていますけど、それも五年で更新をしていかなければならないとかもありますので、より効率的な、そういったその氾濫現象であるとかというものを捉えられる仕組みというものはなかろうかということも併せて今研究をし、国河川ではこうしていこう、で、ひいてはそういった効率的な取り方、もしくは低コストなやり方があるのであれば、今取れていないところにも置きに行けるようにしよう、というようなことをやっていきたい、もしくはやっていくべきだと思って議論をしておるところでございます。以上です。

総合討議 4：獲得すべき河川技術・流域技術

武内慶了（国総研，モデレーター）

最後の質問です。現地調査や研究を通して獲得すべき河川技術・流域技術は他にどのようなものが考えられるかということを知りたいと思っています。皆さん、お三方がやられている研究はもちろん大事ですが、これらの研究をやる中で、他にもこういう研究をやった方がいいなみたいなことがあればぜひ教えてください。

大野純暉（土木研究所）

これはできるかどうかかわからないですが、構想で喋らせていただきます。いろいろ現象を見ている中で、河道埋塞のスピードがものすごく速くて、時々刻々と変わる中で流速も変わるということから、そういう大量の土砂が供給された時にどういうふうに、現地で河道埋塞が進行するのかというところを、要は河床変動、河道の地形変化を観測できる技術というのも、何か工夫をしなきゃいけない。そういった技術開発というか、研究というのはものすごく大事だと思っています。

久加朋子（富山県立大学）

人数が減っているからかもしれないんですけど、似たようなテーマをやる人がなかなかいない。例えば、私はメインは植生と河床変動やっていますが植生の研究と一緒にやる人が少ない。今回は軽石に着目していますが、議論をしながら一緒にやれる人少ないかと思っています。関係ないかもしれませんが、一人で悩んでいる時や、自分で現象を想像できない時に、誰に聞こうかな、相談しようかなという人がもっといたら嬉しいなって思います。最近では、現場のコンサルさんたちが詳しいので、一緒に現場へと教えてもらったりとかして、なるほどと思ったりすることもあります。

原田大輔（法政大学）

こういう研究があったらいいなというのは、多分久加先生みたいな、地質と粒度分布みたいなところですね。こういう現象を考えると時に粒度分布と流砂量式が、鍵だなと個人的に思っている。どちらも非常に難しいテーマだと思います。地質によって、どんな粒径のどんな比重の土砂が出てきているのかということが分かってくれば、それが流砂量式をつないでいきます。もう一つは、流砂量式が非常に不確実性が高い、どれを使うかによってかなり結果に影響してきます。流砂量式は、時々刻々の微分値でも相当の差があるので、積分値になるととても効いてくる。流砂量の研究の進展がないと、この先に計算はできるけれども、「どれぐらい信頼性があるんですか？」というところに耐えられないんじゃないかなと個人的には思っています。

フロア質疑

武内慶了（国総研，モデレーター）

ありがとうございます。予定していた質問は以上です。幸い 10 分ほど時間がありますので、会場からご意見や、今後目指すべき方向への助言をいただければと思います。挙手をお願いします。

知花武佳（政策研究大学院大学）

政策研究大学院大学の知花です。3 名の発表者の皆様、ありがとうございました。どの発表も非常に興味深く、大変勉強になりました。久加先生の発表を伺い、地質条件自体は昔から変わっていないじゃないですか。一方、洪水の度に掘れ続けているはずもない。侵食・堆積は前回からの差分であるため、前回のイベント時に土砂が溜まっていたかを含め、長期的に評価する必要があると感じました。また、大野さんの発表からは、現象の非定常性が強く、ハイドログラフの形状によって結果が大きく変わり得ることを勉強しました。原田さんの解析は、パラメータを調整しながら実現象との対応を高めていましたが、防災実務では大河川下流部とは異なり、約 19,000 河川を対象に知見を展開する必要があります。現象解明を進める一方で、広域に適用できる方法も必要です。

すべての河川で今回と同じ精度の調査・解析を実施できれば理想的ですが、現実には困難であり、目的に応じた複数の評価レベルが必要です。例えば、大野さんが示された地形条件に基づく定性的な危険箇所抽出は、橋梁被災の現場感覚とも整合しており、広域スクリーニングに利用できる可能性があります。そこで、物理過程を一定程度反映しつつ、一次元不等流計算を含む簡略化したモデルによって、多数の河川から危険度の高い河川・区間を抽出できるのか、ご意見を伺いたいと思います。

原田大輔（法政大学）

危険度の高い河川を抽出する研究は非常に重要です。流域全体からの土砂・流木流出を 19,000 河川すべてで詳細に計算することはとてもできないと思います。一方、私がやったような計算から、ある程度割り切りをしたとしても、今得られている知見、被害が生じたようなところでこういった Q-Qs 関係が得られていて、どういう流木の流出量が得られているか？これを基準に土砂・流木を含む平面二次元解析を行う方法は可能性があると考えます。例えば、橋梁での流木捕捉率を 50%・100%など複数設定し、仮定を明示した上で、どの程度まで現象を再現できるかを評価することは可能だと考えます。十分な回答になっていないかもしれませんが、以上です。

山田朋人（北海道大学）

北海道大学の山田です。ありがとうございました。知花先生のご質問にも関連します。2018 年北海道胆振東部地震の直後には、河道閉塞箇所へバックホウを集中的に配置して対策を進めました。投入台数が一定数を下回ると作業効率が急激に低下するため、限られたリソースを重点配置する必要がありました。一方、次の台風が接近する可能性もあり、極めて短時間で優先順位を決めなければならない状況でした。将来、強い降雨が中上流域で増加すると予想される中で、今回の研究や能登半島の事例から、発災後の時間スケールごとに優先して確認・対策すべき場所をどのように示せるでしょうか。下流側からでなければ河道閉塞対策に着手しにくいなど、施工上の制約もあります。研究成果を、各時間スケールで社会へどのように伝えるべきか、ご意見を伺いたいと思います。

久加朋子（富山県立大学）

北海道胆振東部地震の際には、水文・河川・砂防分野の研究者や寒地土木研究所が体制を組み、次の降雨に備えていました。今振り返ると、非常に充実した体制でした。能登では、私自身の初動が遅れたという反省があります。ただし、より早く着手したとしても、県管理河川で利用できた情報は主に LP データと水面情報であり、直ちに詳細計算を行うことは難しかったと思います。初動段階では、一次元計算を迅速に行える研究者・技術者が、河積の不足や、斜面崩壊による河道形状の変化を確認することが重要です。LP データを利用できる河川であれば、河床変動計算によって土砂移動リスクを概略評価できる可能性があります。一方、鈴屋川のように脆く軽い土砂が卓越する河川は、通常のモデルでは再現が難しい可能性があります。能登では事前情報が限られていましたが、富山県内であれば河川情報の蓄積があり、より迅速な計算が可能です。災害時の優先順位を決める手法を整備するとともに、国管理河川だけでなく、県管理河川についても事前のリスク評価を進める必要があると考えます。

田中規夫（埼玉大学）

本日は十分に議論されなかった点かもしれませんが、多量の土砂・流木を伴う河道埋塞を解析する際には、現象の本質的な力学をモデルへ組み込む必要があります。全流域を粒子法で解析することは現実的ではありませんが、粒子法であれば、土砂・流木の非定常運動に伴う慣性力や相間の運動量交換が直接計算されます。一方、通常の流れと河床変動の連成計算では、2way ではあるが、流れが急変し、閉塞部で減速・堆積が進む際の、移動土砂・流木、河床、流体の間の非定常な運動量交換が十分に表現されていない可能性があります。大量の土砂による河道閉塞や橋梁部の閉塞・埋塞を扱うため、この効果を取り込むモデル化も検討していただきたいと思います。

武内慶了（国総研，モデレーター）

ありがとうございます。これはコメントとして受け止めます。

最後、福岡先生、よろしくお願いします。

福岡捷二（中央大学）

本日の3名の発表は、それぞれ異なる方法を用いていますが、いずれも重要であり、今後も継続すべき研究です。これが第一点です。第二点は、人的被害の問題に、中山間地か大都市かという区別はないということです。人命を守るため、私たちは徹底して粘り強く研究と対策を続ける段階に来ていることを、強く意識していただきたいと思います。

久加先生が述べられた、同じ課題に取り組む仲間が少なく、研究者が孤立しやすい、誰も助けてくれないという状況はまづいと思っています。私は現在、過去50年間の河川における土砂移動研究を本格的に整理しています。50年前、大学院を出て仕事を始めた、学び始めて間もない当時は、流砂量式など個別の要素を理解することが中心で、そういった見方で川を見てきた。それ自体は重要ですが、現在では、河川で生じる現象が、複数の要素のどのような関係によって決まるのかを統合的に理解する必要があります。例えば、流砂量式だけを理解しても現象全体を理解することはできません。山地河川における流量・流砂量の把握が必要なのは当然ですが、その基本的な課題を現在も十分に解けていないことを、私たちは情けないと、重く受け止めるべきです。特に人命に関わる課題であることを、水工学・砂防を含む関係者が徹底して意識しなければなりません。大学の研究は、細分化され、研究のための研究になりやすい面があります。しかし、今後本格的に取り組むべき課題を議論し、土木学会や水工学委員会が継続的な研究体制をつくる必要があります。今回の3名の成果をどのように評価し、何が不足しており、次に何を行うかまで具体化しなければ、取り組みは継続しません。

大野さんの発表を踏まえ、緩流河川と中山間地の急流河川における土砂移動の違いを整理する必要があります。比較的緩流の河川では、従来、掃流砂が重視されてきましたが、大洪水時には土砂の7~8割が浮遊状態で輸送され、洪水末期に沈降・堆積して再び掃流形態へ移行し、河床形状や水衝部を変化させることが重要です。このような緩流河川では、掃流砂が河床波の規模や砂州形状を規定し、洪水時の浮遊砂供給がそれらを変化させます。一方、大野さんの実験対象のような中山間地の急流河川は、河道の平面形・縦横断形が複雑で、流れの三次元性も強い場です。ここでは、重力の影響を強く受ける掃流砂運動を重点的に扱う必要があります、土砂を単に浮遊砂として捉えるだけでは不十分です。粒径や比重を把握することは当然重要ですが、堰上げの影響だけで上流側の堆積を説明するのは短絡的です。狭窄部、湾曲部、複雑な河道形状など、背水・減速・堆積を生じさせる要因は河道内の各所に存在します。したがって、流れと掃流砂運動を一体として、二次元解析を含め、どの水準のモデルで解くべきかを検討する必要があります。その際、今回の研究で確実に分かったことと、まだ不確かなことを明確に分けて整理することが重要です。

「計算できる」ということと、現地で実際に何が起きたかを説明できることは区別しなければなりません。現地現象を整理し、実験、数値計算、現地調査に携わる研究者が共通の現象像を持った上で、知見を粘り強く広げる必要があります。河川の土砂研究は 50 年間で大きく進展し、数値解析と現地観測の両面から、実行しようとすれば相当程度まで評価できる段階に達しています。国や県の実務にどこまで実装されているかは別の問題ですが、中山間地の知見が不足しているのであれば、今こそ蓄積しなければなりません。河川技術に関わる委員会が、どの分野・組織と連携し、どのような体制で進めるかを検討していただきたいと思います。

最後に一点述べます。

時間変化が比較的緩やかな大河川では、土砂移動の変化が水衝部を変え、堤防などの構造物の安全性に影響します。ここでの土砂問題は、土砂そのものというより、河道応答を介してインフラの安全性が低下する問題です。これに対し中山間地では、土砂そのものが大きな慣性力を持って流下し、河床・河道形状を急激に変化させ、溢水を引き起こす。ただし、どの家屋が危険かという概略的な見通しは、地形条件からある程度得られると考えるべきです。リスク管理を検討する際にも、まず地形図等から、水・土砂がどのように運動し、水裏となる場所や被害が及び得る範囲について概略的な見通しを立てるべきです。その上で、宅地・家屋の被害評価へ進むことが適切だと考えます。

結論として、本日の 3 名の研究は、今後の議論の原点です。これらの研究があったからこそ、今日の議論が成立しました。同様の問題は過去にも議論されましたが、継続されず、知見が十分に蓄積されていません。今回を足掛かりとして、実施可能な課題を定め、継続的に知見を蓄積できる研究・実務の体制を、ここでもう一度立ち上げる必要があります。先ほど麓室長に伺った「現時点で何ができるのか、何に取り組んでいるのか」という観点も含め、具体的に進めていただきたいと思います。以上です。

総合討議終了

武内慶了（国総研，モデレーター）

予定時刻となりました。まだ議論は尽きず、振手されている方もいらっしゃると思いますが、申し訳ありませんが総合討議を終了します。ありがとうございました。

総括・閉会

柏田仁（東京理科大学）

閉会に移ります。先ほど福岡先生から総括的なご意見をいただきましたが、改めて川池先生に本セッションの総括をお願いします。

川池健司（京都大学）

福岡先生におまとめいただきましてありがとうございました。もう私も出てくる必要ないかと思って、油断しておりましたけれども、今日の議論でもいろいろ課題が浮かび上がってきたかと思います。まだまだ議論が尽くせていないところがございます、冒頭にもありましたように、超過洪水ということへの理解や解釈であるとか、土砂・洪水氾濫とは一体何かというようなこととかもいろいろな解釈があるかと思います。また、実現象として何が起きているのかというところから、確認していく必要があるのではないかというようなこともございます。私も水害の研究をして、ちょうど 30 年ぐらい、福岡先生に比べればひよっこですけれども、なりまして、その直後ぐらいから浸水想定区域制度が始まって、そこから想定最大規模降雨を外力に与えるとかいろいろ改定はありましたけれども、土砂の問題、流木の問題というのがまだまだ十分に考慮されていない。流域治水が始まりましたけれども、まだ土砂の考慮が十分でないというところが、まだまだ我々技術者としてやっていけないといけない、それぞれの産官学の立場でいろいろやっていけないといけない課題があるのかなということが、今日ははっきりわかってきたのかなと思います。私も本当にそうだなと思ったのが、久加さんの独りごと、人が少なくなってきた、同じような研究をやっている人たちが少なくなっている、でも今日議論した課題というのは非常に重要だと思いますので、研究としてやらないといけないことがいろいろあるんだというところから、ぜひできるところから研究をしていきまして、また、投稿されてきた論文を寛大に、あまり厳しく審査することなく、こういう研究は本当に大事だねというようなものは大事に大事に蓄積していく必要があるのかなと今日思いました。最後に三名の先生方、あと麓室長のパネリストの方々、それと討議に参加していただきましたフロアの方々も含めて、感謝を申し上げたいと思います。どうもありがとうございました。