

9. 令和 6 年能登半島豪雨における塚田川氾濫時の  
住民撮影動画解析

東京理科大学

柏田仁

## 【講演】

東京理科大学の柏田と申します。画面に出ているようなタイトルで発表します。私が今日発表するのは、人が撮影した動画で、これは別に流量を対象にしているわけではないのですが、何か情報が得られないかということをやっています。あまり河川系だといわないのですが、最近、特に道路などで、ソーシャルセンシングという言葉が少しずつはやりつつあって、それを少しまねしていろいろやってみているところです。

人が撮影した動画、特に住民の方などが緊急的に撮影した動画は、ぶれているというか、あっちを向いて、こっちを向いてということをやっているわけです。昔、藤田先生などが鬼怒川でヘリでやっていたのを、ある意味まねして、それを人が撮影した動画にできないかということをやっています。

一応、センシングはいろいろあるということを書いています。一般的なわれわれがセンサーを入れたら行くセンシングもありますし、いわゆるリモセン、リモートセンシングで、衛星から来る、ドローンも多分リモセンの一つだと思います。画像解析もきちんと置いて、センサーから離れたところを取っているという意味では、比較的近距離のリモセンだと思います。

ソーシャルセンシングは、観測という言葉が本来広義ですが、水文観測を目的としていない動画が、スマートフォンの普及などによって多数撮影されているということと、Instagram や TikTok など、いろいろなサービスがあって、そこで非常に多く共有されています。それが実はファクトなのか、フェイクなのか分からないぐらいのものもありますが、そういったものを使って何か実態把握ができるのではないかとということです。

こういった、これは塚田川で、能登半島の水害の時に、こちらは X にあったもので、こちらは実際に住民の方に頂いたものです。こういった動画が多数撮られていまして、ここから現象解明ができないかというのがモチベーションで研究を始めています。何をやりたいかというと、こういった動画から、最終的にどこでどういう流速が発生していたのかというのを抽出して、被害の実態解明をやっていききたいということです。

こういうことをやろうとした時に、2 つ大事なことがあると思っています。まず 1 つは、どうやって視点固定をするのかという話です。これは藤田先生の手法をベースにいろいろやらせてもらっています。もう 1 つは、ああいう映像を止めたとして、それを流速に換算しようとする、いわゆる標定点が必要になって、グラウンド・コントロール・ポイントと書いていますが、十分な標定点を手に入れようとした時に、その目的で撮影しているものではないので、何か工夫が要るのではないかとというのがポイントです。

対象とするのは塚田川ですが、これは能登半島で、輪島市がこちらにあります。朝市通りというのが焼け焦げたのがこの輪島ですが、それは大体この辺です。今回対象にするのは塚田川といって、この辺りに流れている川なのですが、流域面積が 7 平方キロ程度の非常に小さい川で、見てのとおり、山から海に直行しているぐらいの川になっています。平

均的に勾配が 60 分の 1 以上ということで、非常に急峻なところになっています。

先ほど言ったとおり、このようなところです。雨が 2 日間で約 500 ミリ降ったということで、非常に大きい流量が流れています。皆さんご存じのとおり、能登半島地震が 1 月 1 日に起こっていますが、その約 9 カ月後に水害が、大規模な降雨があったということで、流域から多量の土砂と流木も供給されて大きな被害になりました。

これから私がお話しするのが、この画像だと、塚田川は下から上に湾曲しながら流れています。湾曲しながら流れているのですが、動画はこのアパートから撮影されています。少し高くて安全な状態で、多くの住民の方々がこれはまずいということで、カメラをこちらに向けたということです。橋が 2 つ架かっています。高い橋と低い橋です。住宅に向かう高い橋と、少し低い橋がこちらにあります。この後、動画を幾つかお見せしますが、これらの住宅は最終的には流れてしまったという被害です。

何をやるかなのですが、こういうオリジナルの、手ぶれや、そもそも画角が大きく動いているものを、このような形で対象物が動かないようにして、画面が動いて、のぞいている窓が動くような感じでしょうか、そのような画像に変換します。その後、オルソ化します。

オルソ化すると、元々この動画は、ピクセルの情報とフレームの情報しかないわけですが、今後は流速が欲しいので、m/s にするために、ピクセルとメートルをひも付ける、よく幾何補正という言い方をしますが、それをやっていきます。

それで、上から見た映像にして、対象としているエリアを、この辺りを解析していきましょう。ここからは、藤田先生のものを参考にしながらやっていくのですが、特徴点の検出と、そのマッチングをして、そうすると、変なマッチングもあるので、それを外して、ホモグラフィマトリックスというのを算出します。

それをアプライして、元の、斜めのものと、正しい一枚の正解のようなものを与えるのですが、そのマッチングをして変換していきます。それを毎フレームやります。このような感じですが、レファレンスフレームを 1 枚決めて、時々刻々のターゲットフレームとの組み合わせ問題を解いて、こういった固定した映像を得るということです。

グラウンド・コントロール・ポイントの話が、GCP を与えなければいけないのですが、GCP がこういう、私がやっているのは非常に簡単な、全部同じ高さになるという過程を踏んでいます。例えばガードレールなどを使っていくのですが、どうしても縦長の画面で撮られると、情報が非常に少ないので、このフレームを大きく作ります。大きく作った上で合わせにきて、メインの画角の外にあるような GCP も使いながら幾何補正をかけていきます。こういうものをこちらの面に投影してということで、上から見た映像を作っています。

このような形で、ぶれていたものを固定して、上から見たようにして、ここに画像解析をかけます。画像解析のやり方はいくらでもあるのですが、今回はオプティカルフローというのをやりました。オプティカルフローは、日本だとあまり使っている人はいないかも

しれないのですが、非常に単純明快な手法です。一言でいうと移流方程式を解きます。輝度  $I$  の移流の情報は、この画像を見ていただくと、 $x$ 、 $y$  の情報も当然ありますし、時間的にこれがどう変化するかということで、輝度  $I$  の  $x$ 、 $y$ 、 $t$  の勾配というのは、全て手元に情報があります。

それに対して、支配方程式をこういう移流方程式と仮定します。移流と仮定するということは、拡散はしないので、情報が時間的に、空間的にも、それが単純に移流するだけという強烈な仮定を与えます。そうすると、こういった非常に簡単な式になるのですが、 $I$  の時間変化や  $I$  の空間勾配など、動画があるので全部分かっています。これらの項は全て既知になるので、 $u$  と  $v$  が分かりそうだというものになっています。ただ、方程式 1 本に対して未知数が 2 つなので、そのまま解けないということで、いろいろな工夫があって、私は今回、**Farneback 法**というのを使っています。

実際にどのような状況だったかというのを、せっかくなので、少しお見せしたいのですが、9 時 25 分がこれぐらいで、床上ぐらいの浸水だったのですが、9 時 28 分になると、もうこのような感じで急に水位が上がっていて、29 分、33 分という感じです。非常に短い時間で水位が急激に上がっているということと、これを見ていただくと分かるのですが、ここが先ほど言った低い橋です。低い橋のところに流木などが詰まっていて、たくさん流れていると思うのですが、ここを迂回する流れが発生しているというのが、見ていただいて分かるかと思います。

もう少し情報を付け足します。これは先ほどお見せしていたものです。9 時 33 分がこういう映像なのですが、9 時 34 分に、これは上流側の家が流れて、ぶつかって、この家が流されるという現象が起きています。ここに家が 1、2、3 と少し見えているのですが、ここに見えている家は、実は中学生の子がここにいたのですが、9 時 56 分に最後のやりとりがあったので、多分こういった状況で 20 分ぐらい耐えて、最終的に流されたとみられています。このような形で、建物周りの流速の情報などが取れそうな動画があって、これを何とか解析しないとイケないということで、鬼怒川の事例を参考にこのようなことを始めました。

従って、これらを対象に、まず左の動画はまだ家が残っているわけですが、9 時 33 分で、ここの冠水が本格的に始まった時間です。右は、こういった動画が、恐らくこれはピークだと思っています。ここは農地のはずなのですが、ここを流れて、この家に流体がぶつかり続けるという状況です。これを解析していきます。

先ほど言ったとおり、このような形で固定するのですが、一遍に固定できないので、上流側で固定して、中ほどで固定、下流側で固定という形で、それぞれで固定して、それぞれでオプティカルフローをして、それぞれでくっつけるというのをやっています。上流側はこういう映像が撮れて、下流側もこのような映像が撮れてということで、これを解析していくわけです。

こういうものを見ていると、例えば家の位置がこの辺りだということ、これは投影して

いるので、家が寝てしまうのですが、フットプリントが一応合っているというのは確認しています。縦長の映像は、縦長なので幅があまり取れないということで、5分割して、上流側、少し下流側、真ん中辺り、下流側、下流側という形で、それぞれのところでオルソ化して解析していきます。それもこのような形で首を振りながら、上から見て、水平面から投影して解析をしていっています。

これが主要な結果の一つなのですが、これは9時33分で、家が流される前ですが、農地の辺りは別に流れていないですね。やはり河川と道路上を流れているのが出ていて、橋のところは流速が消えて、ここでぐるっと回っているのが一応見えるという状況は出ています。家の前は一応、2m/sぐらいで出ているのですが、うまくいっているところとうまくいっていないところが正直あって、この辺りに随分速い流速があります。

とても見づらいのですが、実はここにも変な速い流速があります。そこは何かというと、ここに農地の段があって、そこを落ちている流れと、このガードレールから川に落ちている流れがあるのですが、それをこういうふうに無理やり水平面に投影すると、当然、鉛直で下に落ちているだけなのに、すごく速い流速で水平方向に移動していると誤認して、そういった変なデータが出ているということになります。

今度はこちら側のピーク時です。破線で示している建物は既に流失していて、ここは先ほどの中学生のお宅になります。河道内はほぼ、流速がだいぶ低減しています。ここに閉塞して土砂もたまり始めている時間なので、河道内の流速は、そもそも見えていないというのもあるのですが、だいぶ小さくなって、上流から下流を貫く、水面勾配が一番きつく取れる、ショートカットする流れが発達していることが分かります。

結構変な向きに、ジグザグしながら流れている結果になっているのですが、これも先ほどの段差が落ちているのと同じで、実際は鉛直方向の運動なのに、水平面に移動しているという誤認が生じているということです。一応、接近流速でいうと、この辺りの一番速いところで5m/sぐらいは軽く出ていますので、それぐらいの流速が家にかかり続けていたということです。

変な流速が出ているのはどこかということ、ここで、実際にこれを見てもらうと、こう流れた後にこちらに向かっているというのが見えますが、それはここでかなり、波ですね。ここで少し落ちた、跳ねているのだと思いますが、そういうものを水平に仮定しているがゆえに、うまくいっていないところです。

こういうことをやっている、家が流された瞬間も解析したいという思いが出てきます。こちらは標定点がある意味たくさんありますので、解析可能なのですが、こちらは家が流されていっているタイミングなので、標定点がもうなくなっています。しかし、まさしくこの瞬間の流速を見たいと、やはり皆さん思うと思うのです。では、これをどうしようかと思った時に、この2つの画像を同じ画像にしまえということで、この2つの画像の特徴点をマッチングしました。

人間の目だと分からないのですが、手前の草などはすごくマッチングできて、奥のもの

もいい感じにマッチングできてしまって、このような形で、これは今、家がある画像を透過していますが、標定点がある画像とない画像が同じ画角になったという状況をつくっています。この家の座標は、何となくは Google マップなどで当たれますので、その情報を家がない画像に与えてあげれば、流速の解析もできるということになります。

このような形で位置合わせができたということなので、これに対して画像解析をかけていくのですが、これも上から見たので、家が寝てしまっているので変な感じですが、この流速を解析しました。そうすると、接近流速が 2 メートルぐらいで、これは建物が流失するに足る、少し小さい値にはなっているのですが、迂回する流れが著しく速いです。そういった流れによって、一般的に家は流体力などで評価するのですが、こちら側の柱がやられるなど、そういった、どこかが壊れたことをきっかけに破壊されたということもあるのではないかと見ています。

最近、少しバージョンアップを図ってまして、私が作ったものはがたがたしていたのを、ホモグラフィマトリックスをうまくスムージングして、がたがたしないようにしています。あとは、流木の追跡も大事ではないかと思って、その追跡をやって、こういうのもシミュレーションと比較しようとしています。

あとは、急に話が変わりますが、うちの研究室では LiDAR の観測などもやっていますので、これはいずれこの場でも報告したいと思っているのですが、水だけではなくて樹木などもきちんと測って、河川観測全般をやっていきたいと思っています。これも今後報告したいと思います。

今、大まかにいうと、点群はだんだん取れて、点群のセグメンテーションも簡単にできるのですが、樹木を円柱に近似するというのができます。円柱に近似して、それを直接 3 次元モデルに食わせようということをやっています。3 次元モデルに樹木の情報を入れると、いわゆる大規模水平渦などがきちんと見えて、いろいろ役に立つので、観測だけで閉じるのではなくて、計算と併せながらいろいろやっているの、また報告します。以上です。

## 【質疑・応答】

【東京海洋大学 稲津】すごくいい発表でした。ありがとうございます。後ろのほうで、多分複数のカメラが同じものを撮っているような、ステレオみたいなものがありましたか。これはステレオが撮れているということでもいいのですか。

【東京理科大学 柏田】違います。説明不足でした。まず、この左の動画は 9 時 29 分で、家が残っている状況の動画になります。時間差で 9 時 34 分に家が流される瞬間の動画があって、こちらをぜひ解析したいということで、この 2 つをマッチングしたということです。

【東京海洋大学 稲津】勘違いしていました。もしステレオが撮れているのだったら、水位が復元というか、推定できるのではないかと思ったので質問しました。

【東京理科大学 柏田】これは単一の時間差がある動画なのですが、一応、われわれが行った時には電柱など、あらゆる標定になるものは測量して、時々刻々の水位の時間変化と空間分布は出しています。

【中央大学 手計】最後のほうの流木は、これから分離などはできるようになるのですか。

【東京理科大学 柏田】流木は今、B4 の子に、取りあえずアノテーションしてやってみて、一つ一つ勉強させて、やり始めたところです。単一の流木はそれなりにできそうなのですが、実際に山から崩れて流木が流れてくる時に、クラスターになっているのです。なので、そのクラスターをどうやって捉えるかというのが非常に重要だと思っています。それは今、これは YOLO というものでやっているのですが、このままでは、とてもではないけれどもできないと思っていて、そこはまだまだやることがたくさんあるという感じですか。

【中央大学 手計】昔、黒部川で実物を流して、どれだけ分離していくかというのを、黒部では排砂でやってくれるので、人工的に洪水ができるので、やったことがあります。

【神戸大学 椿】流れや流木流下の数値計算の検証に現地計測データを使うということも考えられると思いますが、今回の発表では触れられていないですが、それはこの会が計測だから気を使ってやったような感じですか。

【東京理科大学 柏田】それは、やりたいけれどもまだやれていないというのが正直なところです。土砂と流木の流出量に関しては、今、法政大学・原田先生と一緒にやっている

のですが、観測結果をレファレンスにして、いろいろな計算モデルに、われわれも 3 次元モデルを持っているので、その 3 次元モデルに、DEM か何かで流木を入れて、そういうことを含めていろいろやろうと考えています。それはこれからやって、いつか、ここになるか分かりませんが、報告します。

**【神戸大学 椿】** 計算と観測の融合、そういう話もできたらと思います。