

「極端水害にそなえるために-洪水シミュレーションの活用事例-」

神戸大学 都市安全研究センター 准教授 小林健一郎

■ 講演内容

本講演では、京コンピュータを使った計算事例から、淀川流域での最悪台風による洪水予測、都賀川流域における雨水幹線の扱い、南海トラフ巨大地震を想定した沿岸域のシミュレーション、その際の避難行動についての検討事例など、さまざまな洪水シミュレーションの活用事例について紹介して頂いた。

近頃、日本において、多くの洪水災害が発生している。そのため、洪水シミュレーションを実施することによって、洪水災害のリスクを分析するということが、洪水災害の被害を抑える上で、非常に重要である。

しかし、現在の洪水シミュレーションは、流域の情報、特に地下空間の状態を高い精度で取得することが非常に困難であること、広域対象になるにつれて計算負荷が高くなってしまふこと、データ同化(モデルに実際の観測値を入力して、数値モデルの再現性を高めるための作業)に必要なデータを得ることが難しいことなどの理由から、流体力学ベースですべてを実施することはまだ困難である。しかし、この方面の研究もかなり進んではいる。

こうした状況で、スーパーコンピュータである「京コンピュータ」を使用することで、より広域で、計算負荷が高くなったとしても、短時間でシミュレーション結果を得ることが可能であることが示された

また、淀川流域の台風による洪水予想や、都賀川流域での集中豪雨による突発的な河川水位の上昇の予想は、流域一体型の3次元水文モデルを使用することで、ある程度予測できるのではないかと考えられる。

さらに、南海トラフ巨大地震を想定したシミュレーションでは、想定レベルの津波では、堤防等の効果によ

り、あまり浸水は見られず、地震発生後の避難開始が極端に遅くなければ、安全に避難することができる結果となった。しかし、堤防が津波に破壊されてしまう恐れなどの問題が考えられるので、検証が必要である。

これらの新しい洪水シミュレーションは、以前のものと比べ、非常に高い精度をもち、有効であると考えられる。しかし、現場では、昔ながらの貯留関数法などであっても、自然の流域で起きている降雨から川の流れに至るまでの流出現象を、あるレベルで再現できることや、大勢の人々が理解しやすいことなどの理由で、このままの手法が好まれることも多い。そこで、新しい手法が、地域における洪水対策の検討において古い手法より有効なのかをよく考える必要がある。



小林健一郎さん

■ 主な質疑応答

- ・都賀川の再現解析結果について、2008年では、山地部の降雨は0%が適当であり、それに対し、2014年では、山地部の降雨は50%が適当であるのはどうしてでしょうか？
 - ⇒ 山地にどれほど雨が降ったのかは明確に確かめられていなく、ただ単に雨が降ったのか、降っていないかの差の可能性が考えられます。そのため、現在、気象庁の土壌雨量指数をふまえて、検討中です。
- ・都賀川で起こった突発的な水位の上昇の原因は、流域の降水量に起因するのか、それとも、流域形状に起因するのでしょうか？
 - ⇒ この災害が起きた際、10分間で20mm、すなわち、1時間降り続けば120mm程度の降水量であり、降水量は多いことは多かったです。流域の形状ももちろん影響していると考えております。
- ・今回、紹介して頂いたシミュレーションはどのようなコンセプトで開発されてきたのでしょうか？
 - ⇒ 5年前は行政の政策に使用してほしいという思いで開発を進めてきましたが、残念ながら、あまり声をかけてもらえませんでした。そこで、京コンピュータの分野で学問的に研究していくことに楽しみを見つける方向に変化しています。
- ・現在、行政ではハザードマップを想定しうる最大降雨でつくり直している中で、研究されているシミュレーションを利用していく考えはありますか？
 - ⇒ 京都大学と合同で、物理的なバックグラウンドを持った最大降雨推定をし始めた最初のグループであると自負していますが、行政はハザードマップのつくり直しを私たちとは関係なく進行しているのが現状です。大学の防災研究者の難しい立ち位置なのではないかと思えます。



「避難計画問題のための数理的技術」

瀧澤重史 大阪市立大学工学研究科都市系専攻

報告書作成者：神戸大学北後研究室 池田明徳

防災分野での ICT の高度な利活用を図るため、特に避難計画問題に対する数理的な基盤技術の開発や計算を行っている。それらの中から、地下街の垂直避難シミュレーション、最速フローモデルによる津波浸水域からの催促避難、避難場所の地域割り当てパタンの全列挙手法について紹介していただいた。

基礎的知識として避難計画についてお話しいただいた。

被害の軽減のための意思決定に（研究者の立場から）踏み込めないかに関心があり、それを“避難計画問題”と呼んでいると語った。問題と呼ぶのは、数理的な問題として解こうという姿勢に意味を重ねているためだ。避難計画で多く利用されるシミュレーションにもモデルが様々ある。その中で今回は「動的ネットワーク」と呼ばれるモデルについて考察した。

①浸水避難を想定した梅田地下街からの垂直避難シミュレーション

大阪市立大学の谷口研究室が作成した梅田地下街の 3D モデルと市販シミュレーションソフトの Sim Tread を利用して計算を行った。シナリオとして利用客の多い平日の 18 時頃に浸水発生、避難者は最寄りの避難階段へ向かい、接続ビルの収容力やビル内の避難者は無視する等と仮定した結果、避難完了に 24 分程度かかることが分かった。しかし、設定したシナリオの仮定は現実と一致しない部分もあるため、それらを考慮すると実際の避難時間は長くなるだろう。

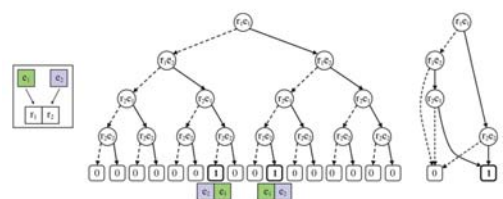


シミュレーションの様子（避難開始 20 秒後）

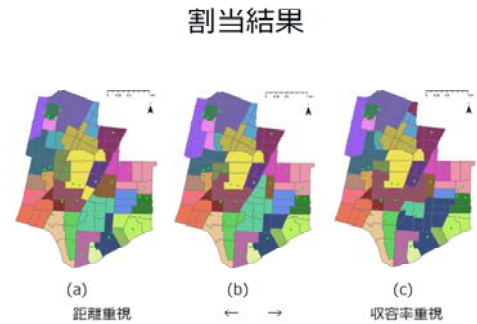
②ZDD を用いた避難場所の地域割り当てパタンの全列挙手法

東日本大震災で明らかとなった避難所の地域への割り当て課題の解決のため、割り当て問題を定式化し、制約を満たすすべてのパターンを全列挙する方法を提案した。さらに、無数の列挙案の中から、移動距離と収容率に関するパレート解を高速に抽出する方法も提案した。

ZDDによる圧縮



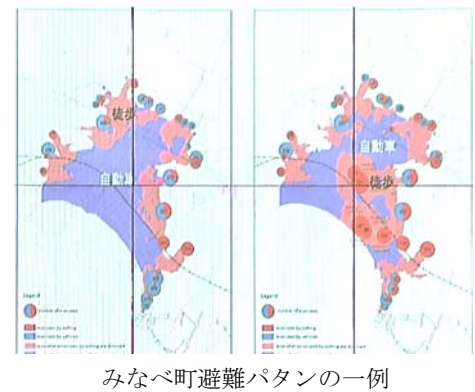
結論として、ZDDを用いた小地域単位の避難所の地域割り当て手法により、100程度の小地域数の問題であれば、極めて短時間ですべての割り当てを列挙できることを示した。そこから移動距離と収容率に関するすべてのパレート解を短時間で抽出する方法も技術としてあることも示した。



③最速避難モデルによる津波浸水域などからの緊急避難

建物スケールでみた場合、最短距離避難で計算すると特定の入りに避難者が殺到してしまうため、混雑が最速で解消される最速フロー避難モデルを提唱した。

また、ネットワークフローを扱った取り組みとして歩行者と自動車という異なる移動速度のものを同時に扱う工夫についても講演していただいた。和歌山県みなべ町を対象として避難先パターンを5つ挙げ検討した結果、徒歩のみでは18分かかるところを自動車の利用により9分から10分程度で避難可能になるなど避難完了時間に差が出るのが計算により明らかになることが分かった。



避難計画問題に対して、数理的・アルゴリズム的な観点からの支援の可能性を検討している。現時点では、シミュレーションによる避難時間の想定といった簡単な使い方にとどまっているが、最適化を意識した避難計画問題の手法を確立できればなど考えている。まだまだ避難時の不確実性、即時性、伝達可能性などへの対応は今後も取り組んでいきたい。

1) ICTとは、Information and Communication Technology(インフォメーション・アンド・コミュニケーション・テクノロジー)の略で、ITの概念をさらに一歩進め、IT=情報技術に通信コミュニケーションの重要性を加味した言葉。

2) 解Aが解Bに対して1つ以上の目的関数について優れており、その他の目的関数について劣っていないとき「解Aは解Bを支配する」という。そして、実行可能解の集合の中で他のどの解からも支配されていない解をパレート解という。
(参考 https://www.idaj.co.jp/glossary/50/s05000/post_147.html)

3) ZDD (Zero-suppressed Binary Decision Diagrams) とは、論理関数のグラフによる表現であり、大規模な組合せ集合データを非明示的に列挙し、多様な演算を効率よく実行することができるものであると期待されている。

質疑応答

Qー交通困難者（身体障がい者）の避難については今回の避難計画の中でどのように扱われる形になると考えていますか？

Aー介助が不可欠である人々の優先順位は高くなり、そのような人々が例えば「車で逃げる」「リアカーを利用する」などをあらかじめ決めておいたうえでどのように介助がなされるのかという形になるのではないのでしょうか。

Qー今回のシミュレーションでは避難者は最寄りの階段を利用して避難していましたが、リアルなシミュレーションを行う必要性と、その実行する上での問題点などはありますか？

Aー空間の認知に関わってくる問題で指摘されることも多々あるが、（空間認識を）どこまで取り入れておくべきかよく分からない。可能であればサイン計画など避難する方向を示す看板を掲げることなどが考えられるが、垂直避難は（建物の運営上）デリケートな問題。このような災害時にどこに逃げるかの判断は、自分が使ったことのある、商業ビルなどの割と大きな建物に逃げるのが実際の避難行動だと考えられる。そのため実際には（今回の結果よりも）もっと避難者が殺到するだろう。難しい問題だ。今回は理想的な状態で避難が行われると約 24 分程度で避難が完了するという結果が得られた。

Qー和歌山県みなべ町でも実際の避難訓練などを行っていると思うが、実際の避難訓練の実績とシミュレーションの結果はどの程度の整合性があるのか

Aーそこまでの再現は行っていない。（シミュレーションには）少し仮定が入っているので、本当はもう一度やり直したほうが精度は良いのだが、今回の講演に間に合わなかったのでそこまでの検証ができなかった。

Qー梅田の地下街のシミュレーションは **Sim Tread** で行っていたが、別の市販のシミュレーションソフトの利用や重ね合わせなどは考えているのか？

Aー実は **Sim Tread** は大きなデータを扱おうとすると処理の速いパソコンを用いても 30 分程度かかってしまう。長いシミュレーション動画を作成しようとするすると 0.2 秒ごとに検討が行われてその積み重ねで計算が膨大になるせいだ。リアルタイムでの計算や、もう少し早く計算ができればなどと思う。みなべ町で行ったものはシミュレーションソフトなどを用いずネットワークフローモデルを自分で作成して計算したもの。どこに逃げるかという目標設定を、みなべ町の場合は **Sim Tread** でも設定しやすそうなので精度を上げる必要があると感じている。

Qー地下街で停電が起きた際に、重要な手掛かりとなる非常灯の間隔はどの程度か？また、非常時の方策などは何かなされているのか？

Aーそこまで詳しくないが、自家発電がどこまで使えるのかという話。災害協議会では話題に上がらなかったのですが、すでに対策済みなのかもしれない。非常灯がついていれば避難が可能であるというレポートがある。