

4. 防災分野における人流シミュレーションの 必要性，課題，展望

坂平文博 北上靖大（(株) 構造計画研究所）

人流の計測と予測

現在、さまざまなセンサの開発によって、さまざまな観点からの人流の計測が可能となった。たとえば、カメラ映像や Bluetooth、ビーコンによる人数計測や方向計測、GPS や携帯電話の基地局による位置測位、ウェアラブル端末による加速度計測、さらにはヴァーチャルリアリティを用いた行動実験などがある。これらの技術は、人流に関するさまざまな知見を提供し続けている。それらによって計測条件下での人流に関することは、今後、かなり解明すると考えられる。

そして、これら人流計測の知見にとっての最終的に目指される方向性は、人流のモデル化であり、さらにその先において仮想状況下での人流がどうなるのかについてである。

その中でも、さまざまな災害がいつでも起こり得る切迫した状態である災害大国の日本において、災害時に人流がどうなるかは、重要な情報となる。そのため、政府や行政機関が防災の施策の意思決定を行う上で、仮想状況下での人流がどうなるかは、早急に求められており、現在までも積極的に避難シミュレーションとして活用されている。

当然のことながら、前述したように、人流計測技術やその分析手法が日進月歩のため、最新の知見が防災分野について活用されているとは限らない。

しかしながら、人流計測の社会的な便益を考えた場合、現在、避難シミュレーションでどのようなことが行われているのかを紹介することは、価値があると考えられる。

そこで、筆者らが実際に携わっている事例をもと

に、避難シミュレーションの現在の到達地点について、必要性和課題、今後の展開について述べたい。以降、本稿において、鎌倉市の津波避難シミュレーションの事例を用いて避難シミュレーションの必要性を述べ、火災延焼シミュレーションの事例を用いて避難シミュレーションの課題点を述べる。さらに、避難シミュレーションの妥当性の取り組みについて述べ、最後に人流計測技術との融合について述べる。

避難シミュレーションの必要性

神奈川県鎌倉市の津波避難シミュレーションの事例¹⁾を用いて、避難シミュレーションの必要性を述べる。なぜなら、鎌倉市特有な事情は避難シミュレーションの必要性を考える上で、典型的な事例の一つとなるからである。

その特有な事情とは、鎌倉市が我が国を代表する観光地であり、古都であるという点である。鎌倉市には年間延べ約 2,000 万人の観光客（外国人観光客を含む）が訪れ、特に夏季には、海岸部に延べ約 110 万人もの海水浴客が訪れる（2012 年）。津波避難に対する施策を検討する上で、これら多くの観光客や海水浴客の人流が津波発生時にどのような状況を引き起こすのか分からないという事情がある。さらに、鎌倉市は景観保全と防災機能の両立をはかる必要があり、津波に対するハード対策よりも、人流をどう制御するのかといったソフト面をより重視した施策が必要であった。

筆者らは、現地調査や避難模擬実験に基づいた避難行動モデルによる避難シミュレーションを実施し

た。その結果、海水浴客や観光客は他の避難者に追従する行動が多いことから、海岸線付近の道路において特定の避難経路と避難場所へ集中し混雑することが分かった。さらに、それが原因で避難時間が長くなり、津波に被災する割合が高くなることが示された(図-1)。筆者らは、混雑の原因の一つとして海岸出入口部や海岸線の道路に避難方向の案内がないという課題があることを突き止めた。

そこで、この課題に対する具体案について、市の担当者と協議した結果、海水浴客の避難経路と避難場所への集中の原因となっている複数の地点において、避難経路を分散させるような人流を制御する避難方向指示標識を置く施策案を策定した。施策の効果については、実際に災害が起こらないと把握できないが、シミュレーションを用いることで、その施策案の効果を一定の合理性の中で定量的に検証することが可能である。そこで、シミュレーションによって、この施策後の評価を行った。評価の結果、避難方向指示標識により一部の避難者にとっては遠回りの避難経路になるが、全体としては特定の避難経路と避難場所への集中による混雑が緩和され、津波に被災する避難者が減少したことを確認した。

この事例が示すように、いつ起こり得るのか分からない切迫性の高い災害時の人的被害の抑制という視点においては、長期的な計画が必要なハード施策と並行して、比較的短期で取り組める人流の制御が重要である。そして、人流が引き起こす被害を事前把握し、人流を制御する方法を検討するために、仮想状況下での人流をシミュレートする方法は有効な手段である。



図-1 津波避難シミュレーションによる海岸線付近での被災

避難シミュレーションの課題点

前述したように、鎌倉市の事例では、災害発生という仮想状況下で人流が混雑を生み出し、それによって避難時間が長くなり災害に巻き込まれる状況をシミュレートした。ここで重要なのは、仮想状況下においては、現状では把握できなかった混雑という現象が把握できたことである。この混雑は、避難者と避難者の相互作用の結果から生み出された創発現象といえる。そして、それはシミュレーションにおいては偶発性に寄与するところが大きい。つまり、混雑の場合、いつ、どの避難者が、どこ方向に移動するのかという部分においては、モデル内部のランダム性で決まる。

ここで一つの大きな課題がある。シミュレーションにおいて人流の要素がランダム性で決まる部分がある以上、シミュレーションの試行ごとに、結果が違うのではないかと課題である。これは防災分野に限ったことではなく、モデル内部にランダム性があるシミュレーションはいつもこの課題に直面する。

多くの場合は複数回試行し、結果にある程度の頑健性があることが確認できればよいが、避難シミュレーションにおいてはあらゆる事態を想定する必要がある、わずかでも発生し得る可能性があ

れば、それを無視できない。特に、どこの地点に発生するのか分からない災害を対象とする避難シミュレーションにおいては、ランダム性は重要な課題である。これについて、首都直下地震下の火災延焼シミュレーションの事例を用いて説明する。

首都直下地震においては同時多発火災の発生が予想されている。しかしながら、地震火災は発生場所における地震津波などある程度地点が想定されるものではない。そのため、地震火災のシミュレーションにおいては、出火地点は住宅や道路の状況等に基づく発生確率という形で決められていることが多く、また火災の延焼はそのときの風速と風向きに大きく依存する。そして、当然のことながら、人的被害の規模は、避難時の人流に対して、火災がいつ、どこで、どれだけの数が発生し、どちらの方向にどの程度の速さで延焼するのかが異なる。

この偶発性による人的被害の程度の幅を検証するために、東京大学の加藤孝明教授ら^{2), 3)}は、首都直下地震発生時の同時多発火災を対象にした避難シミュレーションを数千回試行してみた。その結果、3千回の試行の中では、3千回の被害者数の平均や中央値をはるかに超える膨大な数の被害者を算出する試行があることが発見された。この極端現象のメカニズムについては現在検証中であるが、まれに起こる複数の火災に囲まれるような状況や避難場所の近くが延焼している状況において見られるようである。

この事例が示すように、膨大な数の被害者を出すような極端現象については、現在の状況下での人の流れの計測では検証が難しい。これについては、仮想状況下での混雑のように創発現象を表現できるエージェントベースの避難シミュレーションでしか検証できないものである。

避難シミュレーションの妥当性への取り組み

このような避難シミュレーションは、仮想状況下での創発現象を取り扱うため、シミュレーションモ

デルによって結果が異なる場合があり、妥当性は常に課題である。なぜなら、モデルのどこにランダム性があるのかで創発する現象は異なるからである。また、妥当性の担保の対象とする現実の事象の整合性についても、災害というまだ起きていないものを対象とする難しさがある。

しかしながら、このままの状況では避難シミュレーションそのものの実効性に対する信頼を損なう危険がある。

この問題に対して、東京大学の堀宗朗教授とともに、日本地震工学会において、津波避難シミュレーションのマニュアル⁴⁾を作成した。このマニュアルは、津波だけに限らず、避難シミュレータの信頼性の担保を目的としたものであり、Verification（確認）とValidation（検証）という検証項目から成り立っている。

Verificationは、簡単にいえば、避難行動において設定したロジックどおりにシミュレータ上の人の流れが発生するかどうかである。一方、Validationとは、個々の避難行動の結果が生み出すマクロな現象が現実と整合しているかの検証のことである。具体的には、シミュレーション上の避難時間や混雑発生場所が現実の災害時のそれらと合っているのがある。本マニュアルにおいては、現実の災害については東日本大震災時の石巻市で観察された事象を対象としている（図-2）。観察された事象は災害後のアンケートに基づいているため、完全に正確なものであるとはいえないが、いままで何もなかった妥当性について、ベンチマークを与えた意義は非常に大きい。現在、いくつかの大学や企業のシミュレータがこのマニュアルによる確認と検証を行い、日本地震工学会の委員会から認証を得ている。

今後、この取り組みの成果が広く認知されることと活用されることが社会的な便益を生むと期待している。

人流計測技術との融合

前述のようにシミュレーションの妥当性に関する

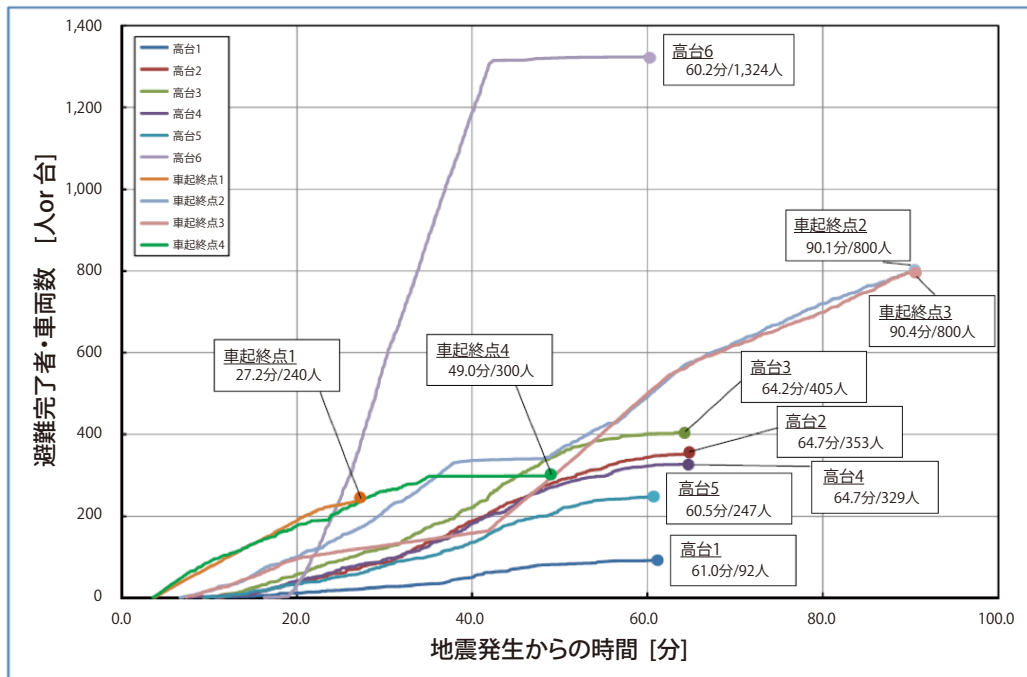


図-2 シミュレーション結果の例
(日本地震工学会「津波避難シミュレーションのマニュアル案」から抜粋)

取り組みは始められたが、現実の現象との整合性の部分 (Validation) において、現実の現象を完全に再現しているとはいえず、避難行動モデルにはまだ解明されていない部分が多い。

従来、人の意思決定モデルである避難行動モデルの設計は、災害後や避難訓練時のアンケートに基づくものが多く、客観性やサンプル数に課題があった。

しかしながら、本稿の冒頭で述べたように、さまざまなセンサの開発によって、さまざまな観点からの人の流れの計測が可能となった結果、たとえば、計測されたビッグデータだけを用いて、避難行動の意思決定モデルを統計的に推定できることが可能である。また、ヴァーチャルリアリティによって仮想状況下での避難行動の意思決定に関するパラメータを取得するような研究⁵⁾も進められている。さらには、災害発生時に人がどの場所にいるかをリアルタイムに計測できれば、現実の状況下でのリアルタイムシミュレーションなどにより、人流のシミュレーションが事前検討だけでなく、災害対応の現場でも活用できることが期待される。

参考文献

- 1) 北上靖大, 森 俊勝, 坂平文博, 志村泰知, 杉浦哲平: 都市課題の改善に向けたマルチエージェント・シミュレーションの活, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol.133, No.9, pp.1640-1644 (2013).
- 2) 加藤孝明, 吉永潤二, 江田敏男, 志村泰知: 延焼・避難広域シミュレーション大規模計算による災害時に発生し得る極端現象の解明とその対処の検討 (その1) —都市の安全化方策検討の枠組み, 火災学会研究発表会 (May 2015).
- 3) 志村泰知, 加藤孝明, 江田敏男, 吉永潤二: 延焼・避難広域シミュレーション大規模計算による災害時に発生し得る極端現象の解明とその対処の検討 (その2) —危険遭遇者発生の特性分析, 火災学会研究発表会 (May 2015).
- 4) http://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2012/08/VV_manual_v3.pdf
- 5) 小林大吉, 加藤孝明, 河原 大: VR (仮想現実) を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性の予備的検討, 生産研究, Vol.68, No.4, pp.327-330 (2016).

(2017年4月25日受付)

坂平文博 ■ f-sakahira@kke.co.jp

(株) 構造計画研究所創造工学部, 社会シミュレーションを用いたコンサルティング業務に従事。

北上靖大 ■ kitakami@kke.co.jp

(株) 構造計画研究所創造工学部 部長, 社会シミュレーションを用いたコンサルティング業務に従事。