

過去の災害情報を活用した、意思決定支援システムの構築 Decision-making Support Systems Using Historical Disaster Information

倉 恒子[†] 森口 周二[‡] エリック マス[‡] 越村 俊一[‡] 奥村 誠[‡]

重松 直子[†] 藤野 昭典[†] 清水 仁[†] 小阪 尚子[†] 久田 正樹[†]

Tsuneko Kura, Shuji Moriguchi, Erick Mas, Shunichi Koshimura, Makoto Okumura,
Naoko Shigematsu, Akinori Fujino, Hitoshi Shimizu, Naoko Kosaka, Masaki Hisada

1. はじめに

近年、大雨に代表されるように極端気象の発生頻度が高くなり、社会基盤への被害が深刻な問題となっている。様々な研究機関により、リアルタイムに被害予測情報を提供する研究が進み、自治体の災害対応にも活用されつつある。自治体職員含め、いろいろなところで 1 年に 1 回または数回訓練が開催されているが、定型的なものになってしまっており、刻々と変化する被害予測情報をもとに判断して訓練を行うことは困難であった。

東北大学と NTT は、東日本大震災後の 10 年間の経験を教訓さらには知恵へと発展させ、人や社会が未知なる環境変化にもしなやかに対応できるシステムの創出により、様々なリスクを乗り越える『超レジリエンス社会』の実現をめざして共同研究を行っている。行政担当者等が来る災害の可能性をできるだけ早い段階で認知することで、災害時に自ら適切な対応を取れることをめざし、時空間の連続性を考慮した What-if 分析が可能な被災予測デジタルツインを構築する。これにより、俯瞰的に地域の災害リスク分布を可視化しながら対策効果を確認する疑似体験を通じて、実対応時のプロアクティブな環境適応行動の判断を支援することを目指している。

本稿では、構築システムに関する内容を報告する。

2. 対象となる地域・災害

東北大学災害科学国際研究所が自治体と防災・減災に関する包括連携協定を結んでいることから、宮城県伊具郡丸森町を対象地域とした(図 1)。五福谷川や内川は急峻な山に囲まれて流れる巨大な集水地形となっている。

また、対象とした災害は、令和元年東日本台風(2019 年台風第 19 号)であり、対象期間は 2019 年 10 月 12 日 0 時～2019 年 10 月 13 日 12 時の 36 時間とした。この台風は東北地方などで記録的な大雨となり、甚大な被害をもたらした。丸森町でも犠牲者 10 名、行方不明者 1 名が発生している。また、内水氾濫、外水氾濫、土石流も多く発生した[1][2]。

「丸森町における令和元年台風第 19 号災害検証を踏まえた基本方針及び改善内容に関する提言書」[3]によると、その他を含めた 16 の検証項目に対して課題が挙げられている。災害対策本部訓練不足、関係各所との情報共有・連携の不足、リソースの最大限活用、警戒レベル発令基準、避難誘導など多方面にわたって改善が提言されている。発災時には、通信手段の不通により初動の被害情報収集がで

きなかったとあり、災害状況の把握が困難であることから、避難準備情報・避難指示の発令などにも影響を与え、住民からの問い合わせへの対応、避難所開設などにも支障があったことが読み取れる。今回の事例だけではなく、一般的に災害は想定外のことが起こるため、リソースが少ない中で如何に効率的に対応業務を実施するのかを的確に判断して指示を出すことは非常に困難である。

そこで本研究では、What-if 分析といった様々な仮説を立てて検証できる環境を提供することが事前の訓練に役立つと考え、過去の災害情報を活用して意思決定を支援するためのシステムを考えることにした。

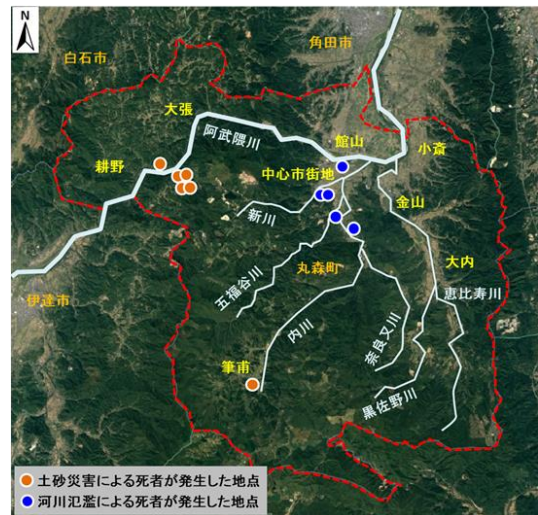


図 1 宮城県伊具郡丸森町と被害状況

3. 被災予測デジタルツイン

3.1 概要

被災予測デジタルツインとは、行政において災害対策に携わる職員が被害の可能性を早期に認識し、被害発生時に適切な対応ができるよう、時間・空間の連続性を考慮した What-if 分析を可能にすることを目的に構築しているシステムである。実世界の再現に加え、人の行動も考慮した相互作用をサイバー空間で実現させることにより、デジタルツインを実現させようと考えている[4]。具体的には、デジタルツイン空間と分析空間を連携させ、様々な条件を変更することにより、以下に挙げる内容の影響を評価できるのではないかと考えている(図 2)。

- 今後の大雨の状況や、それにより発生する可能性のある土砂災害等の予測情報の分析
- 開設すべき避難場所の選定、開設時期
- 避難情報等の決定、発信エリア、発信時期、間隔
- 避難する人の気持ちのパラメータの設定

[†] 日本電信電話株式会社 Nippon Telegraph and Telephone Company

[‡] 東北大学災害科学国際研究所 International Research Institute of Disaster Science (IRIDEs), Tohoku University

災害の発生及び対応状況については、詳細な記録が残っていないため、被害予測 DT で完全に状況を再現することは不可能である。そのため、浸水・土砂災害については当時の気象状況にもとづきシミュレーションで再現する。一方、避難状況については、1日単位の避難率は判明しているため、その数値を再現するようにシミュレーションのパラメータを調整することとした。それを実現した上で、What-if 分析のシナリオのバリエーションを考え、相対的な変化を把握できる仕組みを構築することとした。

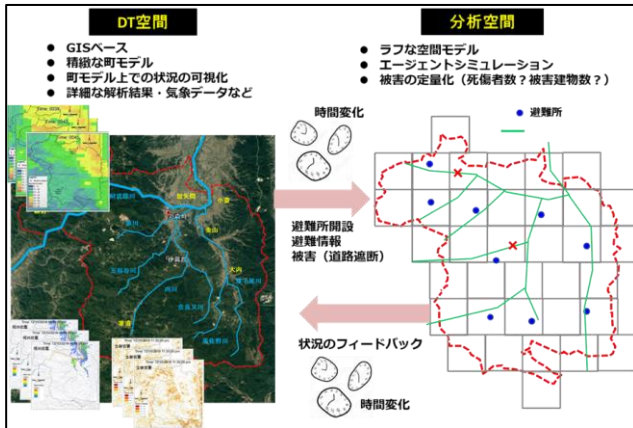


図 2 DT 空間と分析空間との連携

3.2 各々の空間の定義

3.2.1 DT 空間

GIS ベースの精緻な町モデルを構築し、その上で時々刻々と変化する自然状況や気象データなどの外部からのデータや、予測に基づくシミュレーションデータ等を入力することで、時間経過による町の状況変化を確認する。

3.2.2 分析空間

対象エリアをメッシュで区切り、メッシュ単位での分析を実施する。災害対応に必要な主要道路や川、避難所の場所など、最小限の設備情報を対象にして分析を行う。人の動きは、分析を開始する時間のデータを用いる。

4. 被災予測デジタルツインの処理の流れ

3. で定義した 2 つの空間は相互にやり取りを行う。避難所開設や被害状況は DT 空間から分析空間へ入力し、分析空間では人がどのように動くのかをエージェントを用いてシミュレーションする。それにより、避難所の収容状況などが変化するので、結果を適宜(もしくはある一定の時間で)DT 空間に返す。分析状況を DT 空間に反映することにより、次の対応方針を決定し、その結果を分析空間に返す。このようなやり取りを繰り返すことで、状況の変化を再現する。具体的なステップは以下の通りである。

4.1 具体的なステップの説明

4.1.1 シミュレーションによる土砂災害・洪水

当時の気象状況を入力とし、時間経過による土砂災害の発生をシミュレーションにより再現し、発生箇所を算出する。具体的には、降雨の時空間変化と地形傾斜を考慮し、地表流や斜面安定解析等を用いて、河川氾濫や土砂災害(図 3, 4)を再現している。

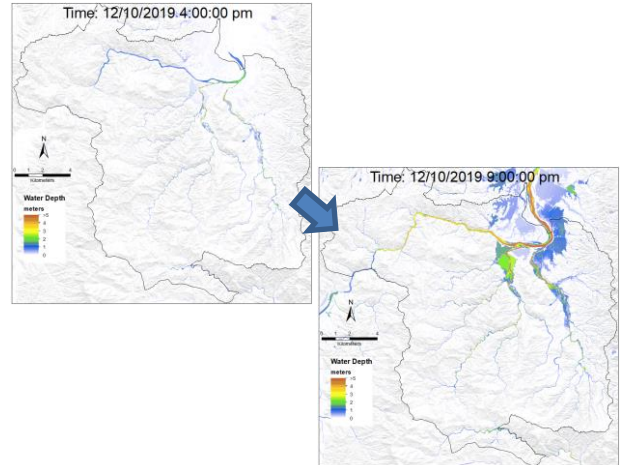


図 3 2019/10/12 16:00 と 21:00 における河川氾濫シミュレーション結果

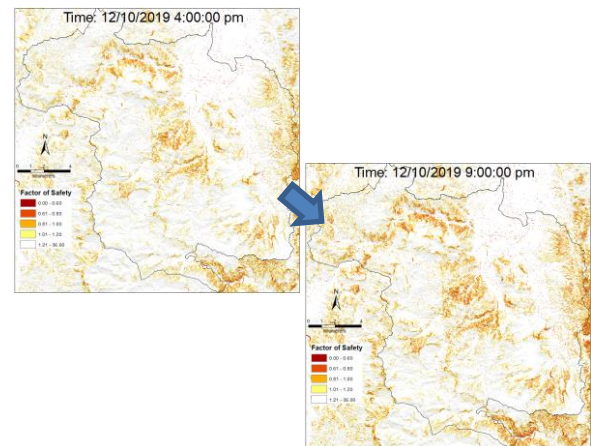


図 4 2019/10/12 16:00 と 21:00 における土砂災害シミュレーション結果

4.1.2 道路ネットワークの遮断

浸水深や土砂流出による通行止めの条件を決める必要がある。浸水に関する基準としては、水野らの検証結果[5]を参考に昼間は水深 50 cm、夜間は 25 cm で歩行が困難となると仮定し、この数値を道路ネットワークの遮断の閾値とし、歩行不可能な道路として設定した。また、昼間と夜間は日没時刻により区別する方針とした。なお、図 5 は浸水深 1 m における道路の浸水箇所を示したものである。土砂に関する基準については、土砂の到達をもって道路ネットワークの遮断とした。

なお、2019 年当時は実際に浸水で避難所を閉鎖した例があったため、災害対応計画の見直しを行い、対象災害ごとに開設する避難所を決定している。

4.1.3 エージェントシミュレーションによる避難

避難指示に基づく避難シミュレーションを行い、実際の避難者数と一致するベースモデルを構築している。これは、人流シミュレーションによる避難場所への移動を再現することが目的であり、道路ネットワークを扱えることから、SUMO (Simulation of Urban MObility) [6][7]というオープンソースの交通シミュレーションを使用している。

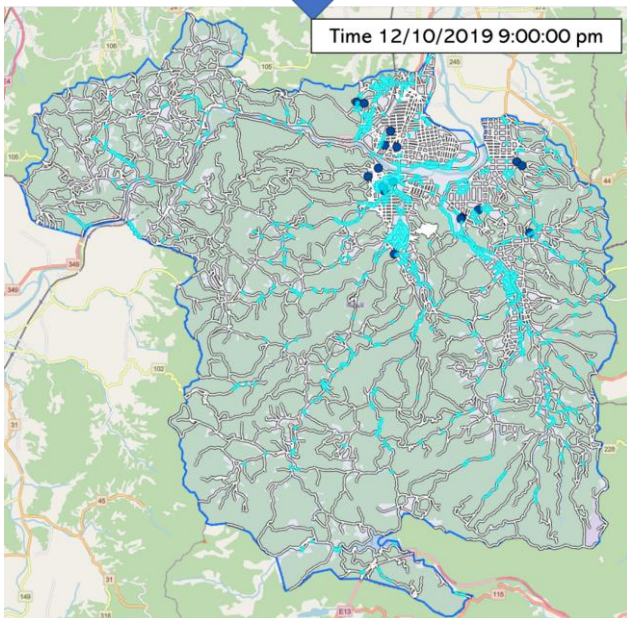
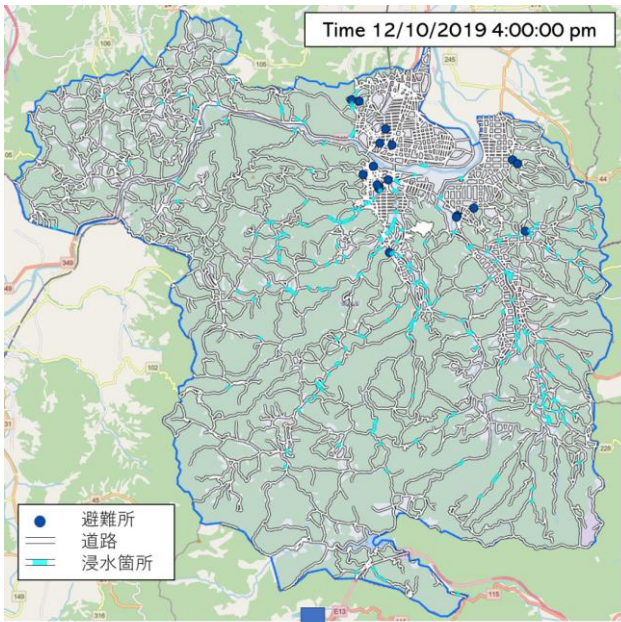


図 5 2019/10/12 16:00 および 21:00 における道路の浸水箇所

本研究では避難状況を再現するに当たり、以下に示す仮定を設定している。

- 対象範囲は市街地で、エリア(図 6 の青枠、四隅の緯度経度は図 6 参照のこと)に含まれる指定避難所を対象とする(指定避難所ではないところは、27, 28, 34)
- 2015 年度国勢調査の結果に基づき、3 次メッシュに含まれる人口を使用[8]
 - 3 次メッシュは緯度の間隔 30 秒、経度の間隔 45 秒であり、一辺の長さは約 1 km となる[9]
- 災害対策本部での対応を想定した場合、全体の規模を把握する必要があり、ある程度の区画単位での粒度で情報を確認するため、今回は 10 人を 1 エージェ

ントとして、移動速度も人の歩く速度に設定(処理時間の高速化)

- 開設した避難場所および開設時間を設定
- 途中で開設した避難場所にも対応
- 避難した人数は、1 日単位でしか把握できないため、初日の避難人数に達するように、シミュレーション上でのパラメータを調整(全人口の 5% が避難)

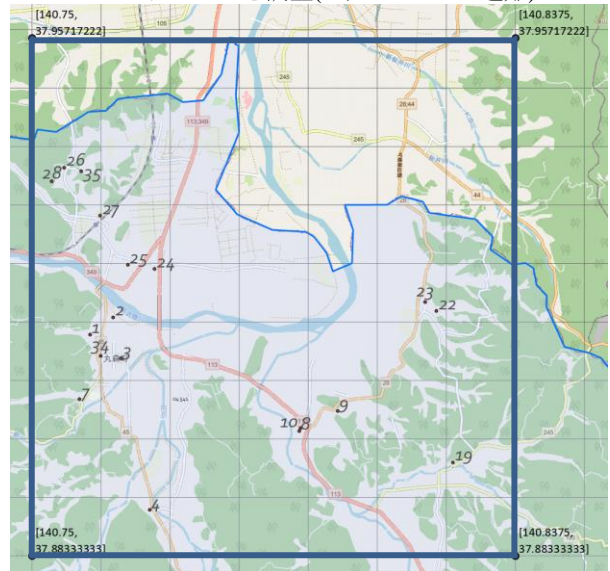


図 6 シミュレーション対象範囲と避難所の位置

4.1.4 避難状況定量分析

避難所あたりのエージェント数、被災エージェント数を求めた。現在は 1 時間毎に、以下の数値を算出したところまでで分析までは至っていない。また、土砂災害による不通エリアについても組み込んでいない。

- 避難所あたりのエージェント数(避難エージェント数)
- 道路浸水エリアに入ったエージェント数(被災エージェント数)

それぞれの時間ごとの数値を表 1、表 2 に示す。なお、指定避難所でもエージェントが 0 のところは省いている。また、2019 年 10 月 12 日 16:00 ごろのシミュレーションの状態を図 7 に示す。なお、今回のシミュレーションでは、表 1 からわかるように、避難できるエージェントは 16:00 までには避難所に移動完了と結果となった。

表 1 避難所におけるエージェント数(1 時間毎)

| 時間 | エージェント数 (1 エージェント=10 人) | | | | | | |
|-------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 3 | 10 | 19 | 23 | 24 | 25 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 15:00 | 2 | 14 | 7 | 7 | 4 | 5 | 13 |
| 16:00 | 3 | 14 | 7 | 7 | 4 | 8 | 13 |
| 17:00 | 3 | 14 | 7 | 7 | 4 | 8 | 13 |
| 18:00 | 3 | 14 | 7 | 7 | 4 | 8 | 13 |

| | | | | | | | |
|-------|---|----|---|---|---|---|----|
| 19:00 | 3 | 14 | 7 | 7 | 4 | 8 | 13 |
| 20:00 | 3 | 14 | 7 | 7 | 4 | 8 | 13 |

表 2 道路浸水エリアに入ったエージェント数
(1 時間毎)

| 時間 | エージェント数 (1 エージェント=10 人) |
|-------|----------------------------|
| 10:00 | 0 |
| 11:00 | 0 |
| 12:00 | 0 |
| 13:00 | 11 |
| 14:00 | 2 |
| 15:00 | 1 |
| 16:00 | 1 |
| 17:00 | 8 |
| 18:00 | 31 |
| 19:00 | 10 |
| 20:00 | 16 |

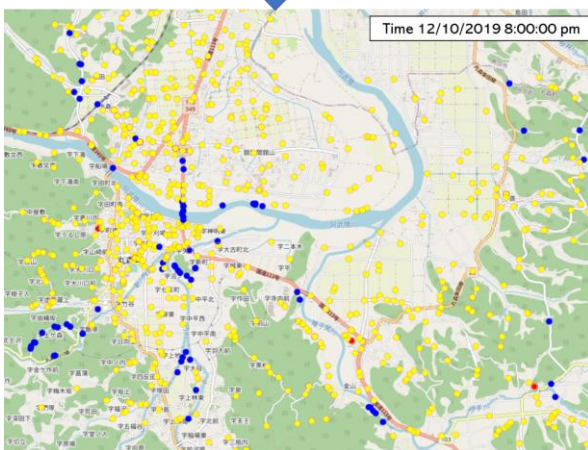
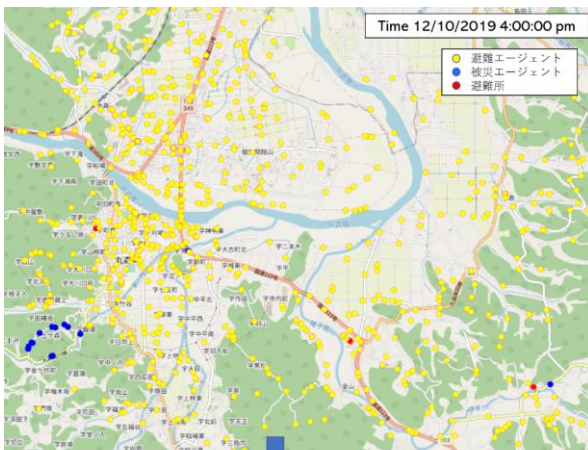


図 7 2019/10/12 16:00 および 20:00 の避難状況

4.2 未対応の項目

現時点では、13時から1時間毎に道路ネットワークの遮断を反映した地図を差し替え、14:40に4箇所の避難所を開設し、すべてのエージェントに避難所開設情報として通知した。その後、15:35に追加で開設した3箇所の避難所

の情報を含めて、すべてのエージェントに一斉通知する条件で、4.1.3 および 4.1.4 を実施したが、4.1.1 の土砂災害への対応および 4.1.2 に記載した時間による浸水深への対応は未対応となっている。

現在は徒歩での避難所移動が前提となっているが、丸森町は山岳部が多く、実際には車で移動する人が多いとのことであり、車での移動手段をシミュレーションに組み込む必要がある。1 エージェント 10 人の設定は現実的ではないため、エージェントあたりの人数を減らさなければならない。これに加え、車の移動速度も検討する必要がある。なお、実際に避難した人がいる避難所すべてに対して避難エージェントが移動できてはいない。エージェントに割り当てる人数を減らすことで避難状況がどのように変化するかを確認する必要がある。

5. まとめと今後の課題

ある一定の条件を設定した状態で、2019年に発生した台風に関して、避難の状況を再現する取り組みの一部を実施した。4.2 に記載した未対応項目への対応、それに基づく避難状況の分析等は今後の課題となる。

課題に対応した後は、災害の発生する時間を変更する、住民への一斉通知のタイミングを変える、地域によって一斉通知のタイミングを変えるなど、様々なシナリオを通して地域の災害リスク分析を疑似体験してもらうことにより、意思決定への影響や対策の見直しなど、どのような効果があるのかを測定し、評価していきたい。

謝辞

共同研究で議論に参加していただいた東北大学 寺田 賢二郎教授、丸森町の状況を共有していただいた東北大学 柴山 明寛准教授に感謝いたします。また、議論に参加していただいた NTT のメンバーにも感謝します。

参考文献

- [1] 柴山 明寛, “台風 10 号による丸森町の被災状況と課題”, 消防防災の科学, No.141(2020.夏).
- [2] 内閣府, “令和元年台風第 19 号に係る被害状況等について”, <https://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/>
- [3] 丸森町令和元年台風第 19 号災害検証委員会, “令和元年台風第 19 号災害検証を踏まえた基本方針及び改善内容”, https://www.town.marumori.miyagi.jp/common/img/content/content_20220105_214547.pdf
- [4] 中村 高雄, “デジタルツインコンピューティング構想”, NTT 技術ジャーナル, vol.32, No.7 (2020).
- [5] 水野 力斗, 二瓶 泰雄, “様々な環境条件下における水害避難時の歩行速度に関する実験的検討”, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4 (2016).
- [6] SUMO User Documentation, <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>
- [7] Pablo Alvarez Lopez, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröd, Robert Hilbrich, Leonhard Lücken, Johannes Rummel, Peter Wagner, and Evamarie Wießner., “Microscopic Traffic Simulation using SUMO,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (2018).
- [8] 2012 年度国勢調査, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00200521&tstat=000001080615>
- [9] 大脇鉄也, 奥谷正, 花輪正也, 三上弘城, 原田優子, 上坂克巳, “交流可能圏域に着目した評価指標の開発に関する研究”, 国総研資料, No.574 (2010).