

〈一般研究課題〉 高空間分解能な降水レーダを利用したゲリラ豪雨回避
のためのTime dependent routing手法の開発と実証

助成研究者 名古屋大学 廣井 慧
(現：京都大学)



高空間分解能な降水レーダを利用したゲリラ豪雨回避の ためのTime dependent routing手法の開発と実証

廣井 慧
(名古屋大学(現：京都大学))

A Time Dependent Routing Method for Avoiding Local Heavy Rainfall using Precipitation Radar with High Spatial Resolution

Kei Hiroi
(Nagoya University(Current : Kyoto University))

Abstract :

In this research, we develop a system that estimates the optimal behavior to minimize various risks associated with localized heavy rainfall. Due to the effects of global warming, sudden local heavy rains have occurred in urban areas. Local heavy rainfall is a phenomenon that leads to inundation and flooding and also causes human damage such as hypothermia, which threatens our safe life. Many researchers had attempt to estimate the impact on cities, such as predicting traffic obstacles using the results of heavy rain detection. The purpose of this research is to develop a system that quantitatively estimates not only the effect on the city but also the effect on human behavior by using the urban structure data such as buildings and roads and the precipitation data. In consideration of temporary evacuation indoors, we will introduce a time dependent routing method that calculates the travel route that has the least effect of rainfall and satisfies the user's outdoor purpose, and presents it as the optimum behavior. This study is a practical study aimed at ensuring safety and improving lives by using actual meteorological observation data, and can be expected to be utilized as a means to directly reduce human damage caused by local heavy rainfall.

1. はじめに

都市域では豪雨や、その影響による浸水の発生が大規模化すると予測されており、その被害を軽

減、防止するための早急な対策が求められている[1]。その対策のひとつとして、降雨に関する観測値の情報提供がある。正確な情報を知り、刻々と変化する降雨の状況やその影響を把握することは、強雨の発生に対してとるべき行動の判断を可能にし、被害を軽減、防止する有効な手段となる。特に、近年、XバンドMPレーダ、フェーズドアレイ気象レーダなど高空間分解能な降水レーダが開発され、ゲリラ豪雨の発生検知が可能になりつつあり、予測精度が大幅に向上するとともに、情報提供についても多くの技術が生まれた。しかし、その活用については浸水・洪水への重要度の高い対応が優先され、日常的なデータ活用については論じられることは少ない。ゲリラ豪雨は、浸水・洪水につながるほか、軽度な雨でも低体温症など人的被害が生じ我々の安全な生活を脅かす現象である。また、災害につながるような強雨の発生は頻度が少ないため、日常的なデータの活用法を見出すことは、生活品質の向上や健康維持のほか、災害発生時の安全確保の側面からも意義がある。

本研究では、ゲリラ豪雨に伴う様々なリスクを最小化するための最適行動を推定・提示するシステムを開発する。本研究のシステムは、建物や道路などの都市構造データや人流データ、降水データなどを利用し、都市への影響に留まらず人間行動への影響を定量的に推定し、被害回避策を提示する。はじめに、都市の屋外空間データを3次元の道路グラフに変換し、移動ルートや手段、屋内への一時退避などを視野に入れ、降雨の影響が最も少なく、かつユーザの屋外での行動目的を満たす移動ルートを算出するTime dependent routing手法を開発し、最適行動として提示する。本研究は、実際の気象観測データを利用し、一般市民の安全確保と生活改善を目的とした実践的研究であり、ゲリラ豪雨の人的被害を直接的に軽減する手段として活用が期待できる。

2. Time dependent routing手法を用いた移動経路算出・提示システムの提案

2.1 概要

近年、XバンドMPレーダ、フェーズドアレイ気象レーダなど高空間分解能な降水レーダが開発され、ゲリラ豪雨の発生検知が可能になりつつある。さらにこれらの降水レーダのデータや防災情報を提供するアプリケーションや地図アプリへの表示など多くのツールが開発され身近に利用できるようになった。しかし、このようなデータそのものや防災情報としての提供はなされているものの、日常的なデータの活用についての事例は多くない。そこで本研究ではゲリラ豪雨の危険を回避し、かつ日常的な活用も鑑み生活改善に役立てるため、Time dependent routing手法を取り入れた経路生成と提示を可能にするシステムを開発する。Time dependent routing手法は、通常経路生成でよく用いられる重み付きダイクストラアルゴリズムを時間制約付きに拡張することで実現する。重み付きダイクストラアルゴリズムは、距離などのコストが最小値となる経路を算出するが、ここに時間方向にアルゴリズムを拡張し、経路を通過中のエージェントがうける合計降水量が最小となるよう、建物への退避時間も考慮した経路計算を行う。さらにこのTime dependent routing手法をマルチエージェントシミュレータで実装し、MQTTで経路提示システム、スマートフォンエミュレータ等の他システム、シミュレータと逐次的なデータ交換を行い、相互に算出結果を利用して最適な経路を計算、提示する。

2.2 システム構成

提案するシステムの構成を図1に示す。提案システムでは、次節で述べる Time dependent routing手法を用い、降雨データ、河川の観測データ、道路情報データ、都市構造データを有するシステム、移動シミュレーション、情報提示を行うスマートフォンエミュレーション等とデータ交換・共有をし、漸進的なシミュレーションを行うことで、リアルタイムで情報生成を可能とする。

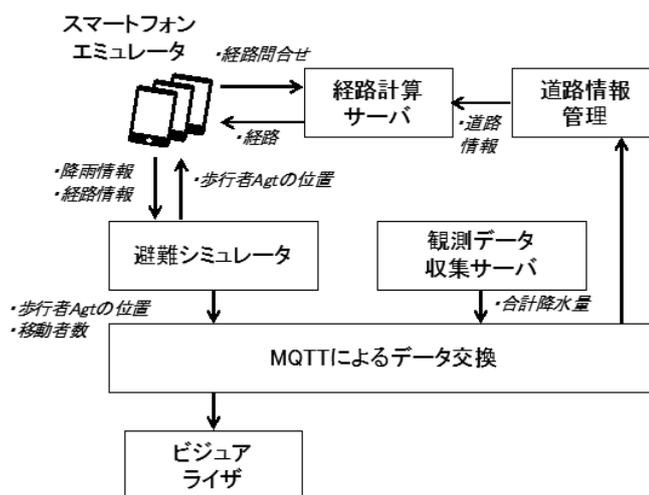


図1. システム構成

2.3 Time dependent routing手法を取り入れた移動シミュレーション

移動シミュレーションは構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータartisocを用いて構築した。移動シミュレーションは、マップに設定された人口分布に従い、移動者エージェントを生成する。移動の判断については、移動者ごとにパラメータを設定できるものとした。つまり、対象地域の年齢分布や情報に対するアクセス性などに応じてその移動

行動特性を設定することができる。また、移動者が目指す目的地については、移動者ごとに初期値として設定できる。移動者エージェントの総数は、シミュレータ上で設定可能とした。

スマートフォンエミュレータから、情報が送信されると移動者エージェントは、それぞれの行動特性にしたがって移動判断を行い、経路計算サーバから経路情報を受け取ると、目的地への移動を開始する。グリッドを移動するごとに経路上のグリッドがもつ合計降水量を確認する。合計降水量をコストとし、経路に付加した上で次節に述べる経路計算にて最もコストの小さくなる経路を計算する。合計降水量が一定値を超える場合は、移動者エージェントの現在地のノードを起点とし、経路計算サーバへ経路の問い合わせを行う。さらに、合計降水量が閾値を超える場合は、近隣の降雨を避けられる建物を含むノードへと目的地を一時的に変更する。

移動者の現在位置のノードと目的地のあるノードが一致した時点で、移動完了とし、その移動者数を移動完了数としてカウントする。移動シミュレータは、MQTTを用いて、各移動者エージェントの位置およびステータス(移動開始前、移動中、移動中止、移動完了)、移動完了数に関する情報をビジュアライザへ送信する。

2.4 経路計算とプロトタイプの作成

経路計算サーバは、移動シミュレータ上の移動者エージェントの経路を算出する機能をもつ。移

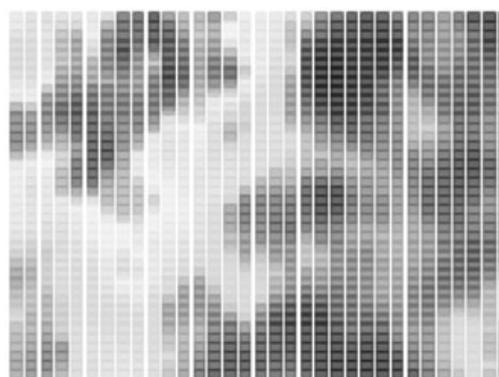


図2. 利用した降雨データの例

動者エージェントの位置と目的ノードの id を入力することで、重み付きダイクストラ法により、距離、コストを考慮して、経路を決定し、経路上のノードのリストを返す。移動シミュレーションは、MQTTで移動者エージェントの位置と目的ノードの id を送信する。スマートフォンエージェントは位置およびノード id を受け取ると、REST API で経路計算サーバからノードのリストを受け取り、MQTTで移動シミュレーションにリストを渡す。

経路計算サーバは、移動シミュレーションの起動時に、ノード間の距離を重みとした重み付き無向グラフを生成する。グラフのコストの初期値はノード間の距離が設定され、合計降水量が逐次的に道路情報管理 DB を介して、グラフに反映される。

3. プロトタイプの作成と実験結果

はじめに、open street mapおよび建物ポイントデータを活用して、対象範囲の市街地での地図を作成した。この屋外空間データを道路構造のグラフに変換し、コストを付与した上で、道路情報管理 DB へ登録した。次に、xbandレーダのデータをもとに各ノード、リンクにおける降水量、合計降水量を算出し、重み付きダイクストラ手法を用いてコストと経路に付与する設定とした。各移動者の経路について、逐次的に合計降水量およびその予測量を用いてコストを算出する。同時に経路上の退避できる施設の有無を検出し、施設があった場合は一時的な退避を含めた移動経路を再計算する。

図3に移動シミュレーションの様子、算出した移動完了率を示す。図中のpersonは移動エージェントであり、青色が移動前、桃色が移動中のエージェントを示している。Buildingは退避可能な建物を指している。移動エージェントは移動経路中の退避により、移動時間を要するものの、降雨の通過を待って移動を再開し、すべてのエージェントが移動を完了する。また、提示システムとして各移動エージェントは図中に示すスマートフォンをそれぞれが所持し、移動開始位置および目的地に応じた移動経路を受け取る。

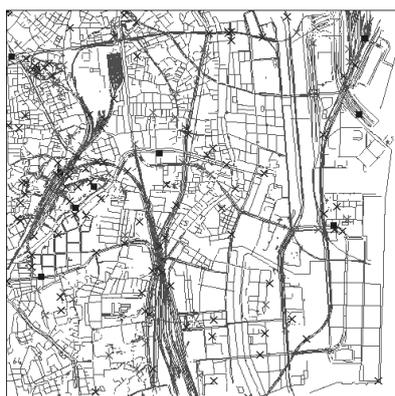


図3-1. マルチエージェントシミュレータでの実験

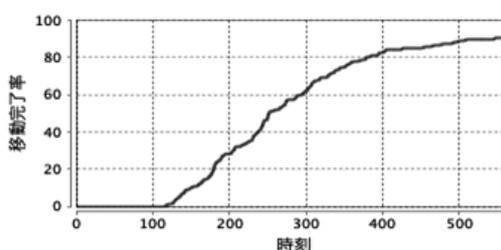


図3-2. 移動完了率の出力



図3-3. スマートフォンでの情報提供

5. まとめ

本研究では、屋内への一時退避などを視野に入れ、降雨の影響が最も少なく、かつユーザの屋外での行動目的を満たす移動ルートを算出するTime dependent routing手法を開発し、ゲリラ豪雨に伴う様々なリスクを最小化するための最適行動を推定・提示するシステムを開発した。本研究で開

発したシステムは、1000名程度の移動者エージェントで算出しているが、人口の多い都市部で遅延なく動作させるためにはマルチエージェントシミュレータの高度化やより実態に近い行動や設定の導入が必要になる。今後は、開発手法および開発システムの高機能化やさらなる多様なデータの活用に関し、継続して開発、改善を実施していく。

参考文献

- [1] Lambert, S. J., J. C. Fyfe, Changes in Winter Cyclone Frequencies and Strengths Simulated in Enhanced Greenhouse Warming Experiments Results from the Models Participating in the IPCC Diagnostic Exercise, *Climate Dynamics*, Vol.26, pp.713-728, 2006.
- [2] Powell, W. B., Comparative Review of Alternative Algorithm for the Dynamic Vehicle Allocation Problem, *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North-Holland, Amsterdam, Vol. 16, 1988.
- [3] Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, J. Y., Vehicle Dispatching with Time-dependent Travel Times, *European Journal of Operational Research*, Vol.144, No.2, pp.379-396, 2003
- [4] Stern, A. D., Shah, V., Goodwin, L., Pisano, P., Analysis of Weather Impacts on Traffic Flow in Metropolitan Washington DC, In *Proceedings of the 19th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology*, 2003.
- [5] Haghani, A., Jung, S., A Dynamic Vehicle Routing Problem with Time-dependent Travel Times, *Computers & Operations Research*, Vol.32, No.11, pp.2959-2986, 2005.
- [6] Singh, P. S., Lyngdoh, R. B., Chutia, D., Saikhom, V., Kashyap, B., Sudhakar, S., Dynamic Shortest Route Finder using pgRouting for Emergency Management. *Applied Geomatics*, Vol.7, No.4, pp.255-262, 2015.

