

令和 4 年度  
修士学位論文

# 災害発生時における複数の情報拡散手段を 組み合わせた避難手法

A Method for Evacuation Combining Multiple  
Information Diffusion Means During Disaster

1255124 渡辺 奈実

指導教員 横山 和俊

2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報学コース

# 要 旨

## 災害発生時における複数の情報拡散手段を組み合わせた避難 手法

渡辺 奈実

災害発生時の車避難は幼児や高齢者や足が不自由な人にとっては必要な避難手段である。しかし、災害発生時の道路は平常時と異なり、次々と障害が発生して道路を通れなくなる危険性がある。このため、刻々と変化する道路の情報をリアルタイムに収集して避難経路を探索する必要がある。この問題に対し、道路状況を避難者が共有し、道路情報を避難経路に取り入れることで避難時間を短縮する研究が複数行われており、状況を共有するために様々な情報拡散手段が用いられている。それらの研究は単独で情報拡散手段を用いた場合の有効性を示しているが、複数利用した場合の有効性は示されていない。

本研究では、複数の情報拡散手段(ラジオ, Twitter, 無線通信, 人伝)を組み合わせて利用することを提案する。また、シミュレーションにより、複数の情報拡散手段を用いると、情報拡散手段未使用時と単独で利用した場合に比べて避難時間が短縮することを示す。

**キーワード** 避難経路探索, 情報共有, Twitter, 無線通信

# Abstract

## A Method for Evacuation Combining Multiple Information Diffusion Means During Disaster

Nami Watanabe

Evacuating by car in the event of a disaster is a necessary means of evacuation for infants, the elderly, and people with disabilities. However, unlike normal times, roads in the event of a disaster are at risk of becoming impassable due to one obstacle after another. Therefore, it is necessary to routes. Several studies have been conducted to reduce evacuation time by sharing road conditions with evacuees and incorporating road information into evacuation routes. These studies have shown the effectiveness of single means of information diffusion, but have not shown the effectiveness of using multiple means.

In this study, we propose to use a combination of multiple information diffusion means (radio, Twitter, wireless communication, and human communication). Simulations also show that the use of multiple information diffusion means reduces the evacuation time compared to the case where no information diffusion means are used and when they are used a single diffusion mean.

**key words**    Evacuation route search, information sharing, Twitter, wireless communication

# 目次

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 第 1 章 | はじめに                  | 1  |
| 第 2 章 | 関連研究                  | 3  |
| 第 3 章 | 情報拡散手段の特徴             | 5  |
| 3.1   | ラジオ . . . . .         | 5  |
| 3.2   | Twitter . . . . .     | 7  |
| 3.3   | 無線通信 . . . . .        | 9  |
| 3.4   | 人伝 . . . . .          | 10 |
| 第 4 章 | シミュレーションモデル           | 11 |
| 4.1   | 全体の制約 . . . . .       | 11 |
| 4.1.1 | 車の走行速度 . . . . .      | 12 |
| 4.1.2 | 道路の容量と渋滞判定 . . . . .  | 12 |
| 4.1.3 | 道路の障害情報 . . . . .     | 13 |
| 4.1.4 | U ターンにかかる時間 . . . . . | 14 |
| 4.2   | 情報拡散手段の制約 . . . . .   | 15 |
| 4.2.1 | ラジオの制約 . . . . .      | 15 |
| 4.2.2 | Twitter の制約 . . . . . | 17 |
| 4.2.3 | 無線通信の制約 . . . . .     | 18 |
| 4.2.4 | 人伝の制約 . . . . .       | 19 |
| 4.3   | シミュレーションの流れ . . . . . | 20 |
| 第 5 章 | 提案手法                  | 22 |
| 5.1   | 提案手法 1 の詳細 . . . . .  | 22 |

## 目次

|              |                      |           |
|--------------|----------------------|-----------|
| 5.2          | 提案手法 2 の詳細 . . . . . | 22        |
| 5.3          | 提案手法 3 の詳細 . . . . . | 23        |
| <b>第 6 章</b> | <b>評価</b>            | <b>24</b> |
| 6.1          | シナリオ . . . . .       | 24        |
| 6.2          | 評価指標 . . . . .       | 26        |
| 6.3          | 結果 . . . . .         | 26        |
| 6.4          | 考察 . . . . .         | 31        |
| <b>第 7 章</b> | <b>おわりに</b>          | <b>33</b> |
| 7.1          | まとめ . . . . .        | 33        |
| 7.2          | 今後の課題 . . . . .      | 33        |
|              | <b>謝辞</b>            | <b>35</b> |
|              | <b>参考文献</b>          | <b>36</b> |
| <b>付録 A</b>  | <b>シミュレーション結果</b>    | <b>39</b> |

# 図目次

|      |                                 |    |
|------|---------------------------------|----|
| 3.1  | ラジオ放送までの流れと特徴 . . . . .         | 6  |
| 3.2  | Twitter の情報共有範囲と特徴 . . . . .    | 8  |
| 3.3  | 無線通信の情報共有範囲と特徴 . . . . .        | 9  |
| 3.4  | 人伝の情報伝達の様子と特徴 . . . . .         | 10 |
| 4.1  | 地図情報の例 . . . . .                | 11 |
| 4.2  | S から G までの 3 つの経路 . . . . .     | 13 |
| 4.3  | セルの作成 . . . . .                 | 13 |
| 4.4  | エッジ走行中の道路の寸断 . . . . .          | 14 |
| 4.5  | 次のエッジへ移動時の道路の寸断 . . . . .       | 14 |
| 4.6  | 高速道路での道路の寸断例 . . . . .          | 16 |
| 4.7  | 高速道路侵入経路での道路の寸断例 1 . . . . .    | 16 |
| 4.8  | 高速道路侵入経路での道路の寸断例 2 . . . . .    | 16 |
| 4.9  | エッジ走行中の道路の寸断 . . . . .          | 17 |
| 4.10 | 新しいエッジへ移動時の道路の寸断 . . . . .      | 17 |
| 4.11 | 車間の距離 . . . . .                 | 18 |
| 4.12 | 無線通信の情報共有範囲と特徴 . . . . .        | 19 |
| 4.13 | 1 ステップの流れ . . . . .             | 21 |
| 5.1  | 各情報拡散手段が送信する情報 . . . . .        | 23 |
| 6.1  | 地図情報 . . . . .                  | 25 |
| 6.2  | ラジオの放送時間 . . . . .              | 26 |
| 6.3  | 不通信エリアあり, 無線通信同期 3 秒 . . . . .  | 27 |
| 6.4  | 不通信エリアあり, 無線通信同期 10 秒 . . . . . | 27 |

## 図目次

|      |                                |    |
|------|--------------------------------|----|
| 6.5  | 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒 . . . . .  | 28 |
| 6.6  | 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 28 |
| 6.7  | 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒 . . . . .  | 28 |
| 6.8  | 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 28 |
| 6.9  | 不通信エリアなし，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 29 |
| 6.10 | 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 29 |
| 6.11 | 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒 . . . . .  | 30 |
| 6.12 | 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 30 |
| 6.13 | 不通信エリアなし，無線通信同期 10 秒 . . . . . | 30 |
| 6.14 | 全車無線通信回数の合計 . . . . .          | 30 |
| 6.15 | Twitter 利用者 4 割 . . . . .      | 31 |
| 6.16 | Twitter 利用者 2 割 . . . . .      | 31 |
|      |                                |    |
| A.1  | 不通信エリア無 無線通信間隔 3 秒 . . . . .   | 39 |
| A.2  | 不通信エリア無 無線通信間隔 10 秒 . . . . .  | 39 |
| A.3  | 不通信エリア有 無線通信間隔 3 秒 . . . . .   | 39 |
| A.4  | 不通信エリア有 無線通信間隔 10 秒 . . . . .  | 39 |

# 表目次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 4.1 無線通信の順番と保有情報の変化 . . . . . | 18 |
| 6.1 シミュレーションパラメータ . . . . .   | 25 |

# 第 1 章

## はじめに

災害発生時の避難手段は原則として徒歩が定められていたが、東日本大震災後は津波から逃れる場合は車での避難が認められるようになった。国土交通省が行った調査によると、東日本大震災では津波の浸水被害を受けた地域に住む調査対象の半数が車移動を行っている [1]。車での避難は、幼児・高齢者・足が不自由な人など徒歩での移動が困難であったり時間がかかる人にとって重要な避難手段である。実際に、東日本大震災では保育所の職員が園児を自家用車に乗せて避難したことで津波から逃れることができた事例がある [2]。しかし、災害発生後は普段の道路とは違って、土砂崩れや道路のひび割れといった道路の寸断が多発する危険性がある。そのような状態で避難すると、道路の寸断に遭遇した時に U ターンする必要があり安全な場所への到着が遅れてしまうため、津波に巻き込まれる可能性がある。このタイムロス回避するためには、事前に道路の寸断情報を入手し、寸断された道路を回避する必要がある。道路の寸断は避難中も次々と発生する可能性があるため、車は動的に避難経路を変更する必要がある。また、車は道路の寸断が起こってからなるべく早くその情報を入手し経路探索に含めることが望ましい。

災害時の情報拡散手段として利用できるものは、ラジオ、SNS(Social Networking Service)、携帯端末や車載 WiFi を利用した無線通信、人同士のコミュニケーションが挙げられる。ラジオは災害に強い情報拡散手段であり、阪神・淡路大震災や東日本大震災、熊本地震でも利用された。特にインターネットを利用できない状況でもラジオは利用できるため、東日本大震災時には重要な情報伝達手段となった [3]。国内の代表的な SNS である「Twitter」は情報のリアルタイム性が高く、地震が発生した際には Twitter で検索して震源地を確認するなど平常時から情報収集に利用されている。しかし被害が大きい場合はインターネットが

使えない可能性があり，インターネットを通した情報収集ができない可能性がある．そこでインターネットに接続していない状態でも人々が持つスマートフォンの無線通信を使ってリレーのように情報を繋ぐ通信技術「スマホ de リレー」が開発され，高知市でも 2019 年から運用されている [4]．

このように災害時に避難する際は，刻々と変化する道路環境に対応するため，情報のリアルタイム性やインターネット不通信時にも対応する情報拡散手段を考える必要があり，災害時の情報共有に関する研究が複数行われている．[5][6] の研究は情報拡散手段を用いて避難開始を催促することで災害が発生してから避難を完了するまでの時間を短縮しており，避難中に発生する道路の障害は考慮していない．[7][8][9] の研究は情報拡散手段を用いてリアルタイムな道路の情報を扱っているが，情報拡散手段を単独で使用しており，情報拡散手段を複数組み合わせた場合の評価は行われていない．そこで本研究では，情報拡散手段を複数組み合わせることで避難時間を短縮できるかをシミュレーションにて評価する．

## 第 2 章

# 関連研究

本章では、災害発生時に円滑な避難を行うための情報共有を取り扱っている研究を示す。松島ら [5] は地震や津波での避難中に避難者同士が音声で情報を伝達するシミュレーションを行っており、津波避難での避難者間の音声伝達は避難開始を促すことに有効であることを示している。また、地震避難では避難者間の音声伝達と防災無線を使った情報伝達のシミュレーションを行っており、どちらも避難時間の短縮に効果があることを示している。丹羽ら [6] は情報伝達手段の特徴によるメッセージ提供率が避難に与える影響を評価している。駅の地下街での火災を想定し、非常放送と人伝と SNS をそれぞれ使用して、駅地下にいる人に避難を促している。駅にいる半数が即時避難せず用事を済ませてから避難する場合は、SNS を利用した場合が最も避難時間が短い結果となっている。これは、SNS で最初に避難を促された時に避難行動に移らなくても、その後に再度情報を得ることができる特徴による効果であると示している。[5][6] の研究はどちらも避難者の避難開始時間を早めるために情報伝達手段を用いて催促することで避難時間の短縮を行っており、避難中に変化する道路状況は共有していない。また [6] の研究は避難を催促するために SNS を利用しており、連絡相手が友人であることからデマ情報が流れることは考えにくいですが、SNS を掲示板のように利用する場合は情報の信憑度を考える必要がある。

Fuli ら [7] は津波の発生を検知したり安全な避難経路を分析する緊急災害対策本部と各地域の代表者とその地域住民との情報伝達を Twitter を通して行い、インターネット不通信時は無線通信を用いて情報伝達を行うシステムを提案している。地域の代表者は環境の変化を監視しリアルタイムに緊急災害対策本部に報告することで災害によって変化した環境に迅速に対応し、地域住民は割り当てられた避難所に避難を行う。片岡ら [8] は利用者が水害発生

時の避難状況をアプリケーションに入力し通れた経路の情報を提供することでリアルタイムな情報を得ることできるアプリケーション「みんな」を作成している。みんなは利用者がその経路を通った時間を共有して可視化しているため、進行予定の経路を通れる可能性が高いことを教えてくれる。さらに冠水予測シミュレータや経路冠水情報を基に最適な避難経路を予測してくれる。矢原ら [9] は短距離広帯域無線通信と長距離狭帯域無線通信を併用し DTN (Delay/Disruption Tolerant Network) を用いて不通信時でも道路が通れない場所を共有するシステムのシミュレーションを行っている。短距離広帯域無線通信は通信距離が短く、DTN は情報を共有可能であるかは避難者の流れや密度に影響されることから、孤立している避難者には情報を届けることができない可能性がある。そこで、通信距離が長い長距離狭帯域無線通信を使うことで他の避難者と隣り合わない孤立した避難者にも情報を共有できることを明らかにしている。

[7][8][9] の研究は情報拡散手段を用いてリアルタイムな道路情報を共有しているが、情報拡散手段を単独で利用しており、異なる手段を複数組み合わせでの避難は行っていない。そこで本研究では、4 つの情報拡散手段を組み合わせで使用することで、障害に遭遇する前に情報を入手し経路を変更することで避難時間を短縮できるかをシミュレーションにて評価する。

## 第 3 章

# 情報拡散手段の特徴

本研究では、一度に多くの人に対して放送できるラジオ、国内での利用が多い Twitter、無線通信、避難者同士でコミュニケーションをとる人伝を使用する。各情報拡散手段の特徴を述べる。

### 3.1 ラジオ

平常時の道路情報を扱うラジオには、主に高速道路の情報を扱うハイウェイラジオや国道の情報も扱う道路交通情報センターから情報を発信する民間放送のラジオがある。ハイウェイラジオは主に高速道路で利用することができる。更新間隔はだいたい 5 分で短い時間で情報を拡散できるが受信範囲は設置点から 3km で民放放送のラジオと違って広範囲に情報は拡散されない。それに対し民間放送のラジオは広範囲に情報を拡散することができるが放送間隔は様々であり、高知で同一局からのみ情報を得る場合は間隔が短い時でも次の道路情報を聴けるまでに 1 時間かかる。ただし、災害時は定時の放送以外でも交通情報が提供されるため、ラジオ放送の頻度は高くなると考えられる [10]。ラジオは災害発生時も情報拡散手段として利用できる可能性が高い。実際に被害が大きかった東日本大震災では、固定通信・移動体通信・インターネットの利用は困難であったがラジオは災害直後でも利用することができた [3]。ラジオは災害が起こっても広域に多くの人に情報を伝えることができる手段である。ラジオが他の情報拡散手段と大きく異なる点は、主に高速道路と国道の情報を扱う点であり、多くの車が通る高速道路と国道の情報を一度に多くの人に届けることができる。ラジオの情報は公的機関が確認を行ってから発信するため信頼性が高い。また、ラジオは情

### 3.1 ラジオ

報を確認した後にすぐに情報を発信するのではなく、決まった時刻にまとめて情報を発信するため、車は他の情報拡散手段に比べて情報を受け取るのに時間がかかり情報のリアルタイム性は低くなる。道路に障害が発生してからラジオで放送するまでの一連の流れを図 3.1 に示す。

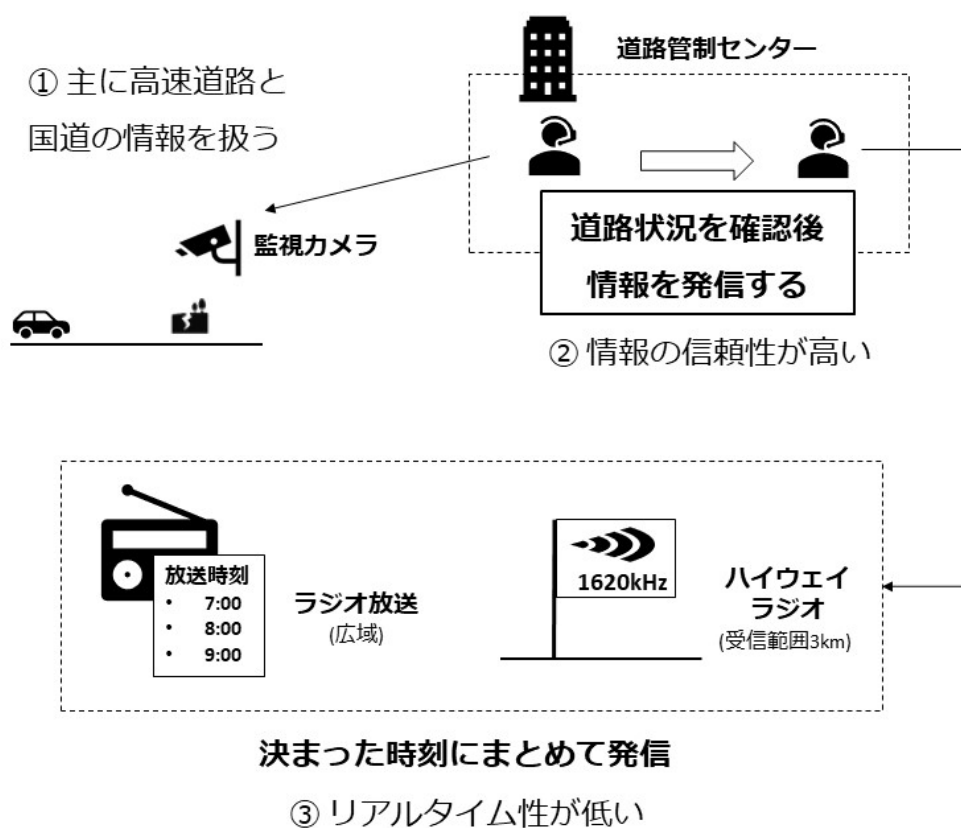


図 3.1 ラジオ放送までの流れと特徴

### 3.2 Twitter

Twitter は利用者登録を行っていれば、誰でも情報を即時に発信でき閲覧できる情報拡散手段である。東日本大震災では総務省が行った調査対象の普段の Twitter の利用率は、よく利用する・たまに利用する利用者がおよそ 13%ほどおり、災害発生時に利用した人は 5%弱であった [12]。東日本大震災後の翌年の平成 24 年から令和 2 年の Twitter 利用率は 15.7% から 42.3%へと 2.7 倍に増加している [13]。このことから、今後の災害時でも Twitter に情報が投稿されると考えられ、Twitter は有効な情報拡散手段になると推測される。Twitter は誰でも情報を提供できることから、ラジオとは異なり県道や市町村道路などの細かい情報も流すことができる。

Twitter は災害に直面している人以外も情報を流すことができ、なかには間違った情報が流れる可能性があるため、他の情報拡散手段に比べて情報に対する信頼性は低い。そのため、横部ら [14] の投稿者の投稿実績、投稿内容と場所の位置情報、投稿内容の位置情報の乖離度から情報の信憑度を表示することでデマ情報の拡散を抑制するシステムや、現在システムの試験公開を行なっている対災害 SNS 情報分析システム (DISAANA)[15] や災害状況要約システム (D-SUMM)[16] が研究されている。DISAANA と D-SUMM は Twitter に投稿された災害情報を自動で抽出したのち、対象の場所とその災害に該当する投稿件数を地図上に表示し、情報が正しいか判断できるように、矛盾する情報を同時に表示してくれる。

インターネットを使用できない場合は Twitter を利用できないため、大規模災害により基地局が被災し物理的に破損した場合は利用できない可能性がある。このような問題点があるものの、インターネットを利用できれば道路の障害を発見した人は瞬時に各地に情報を拡散することができ、利用者也拡散されるとすぐに情報を閲覧することができるため、素早い情報の拡散に期待できる。図 3.2 に Twitter 利用時のイメージを示す。

### 3.2 Twitter

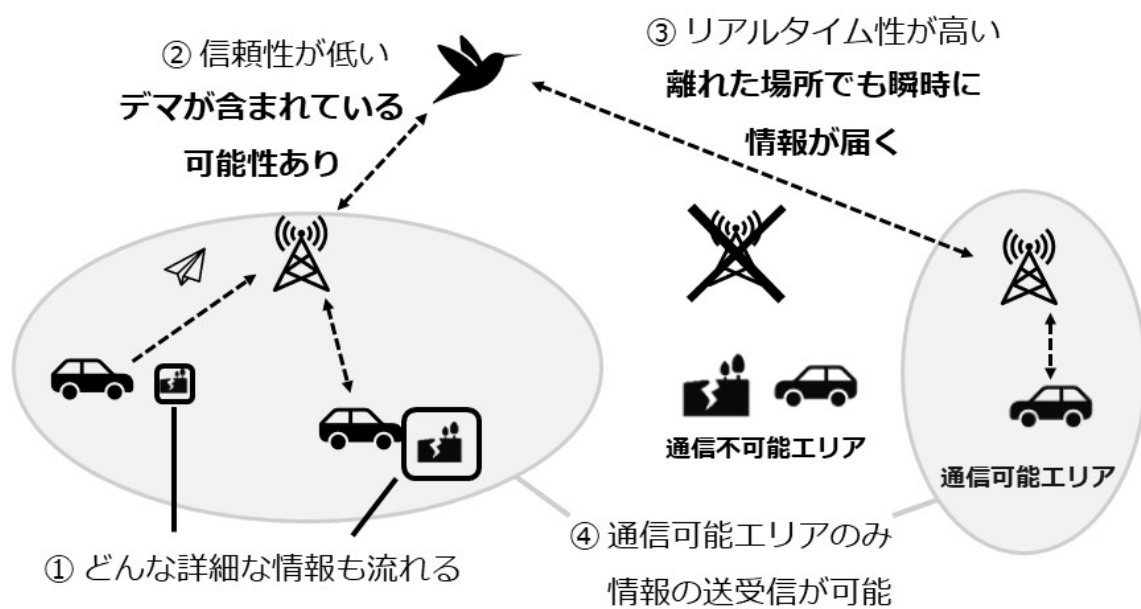


図 3.2 Twitter の情報共有範囲と特徴

### 3.3 無線通信

## 3.3 無線通信

無線通信は車同士が1対1でインターネットを利用せずに情報の送受信を行うことができる。また、人伝と違って無線通信ではこれまでに各車が蓄積した道路情報を相手に伝えることができる。ただし、無線通信は通信可能な範囲が限られているため遠方と情報の送受信を行うことはできない。

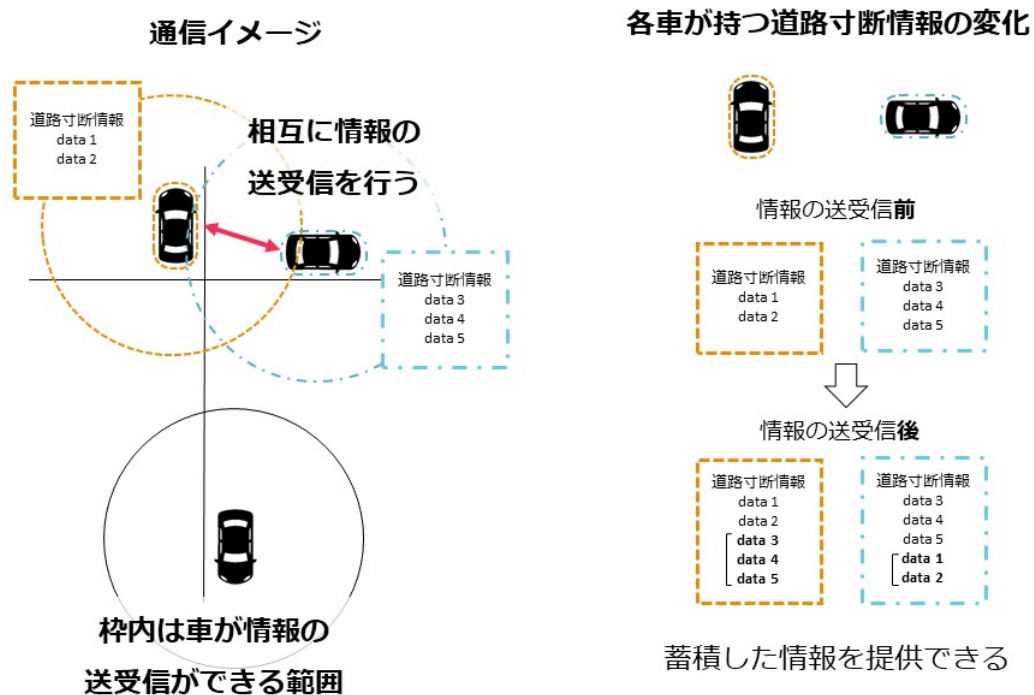


図 3.3 無線通信の情報共有範囲と特徴

### 3.4 人伝

## 3.4 人伝

人伝は運転手以外に同乗者がいることを想定し、同乗者が対向車に対してジェスチャーや身振り手振りで情報を伝える。人伝は複数の情報を伝えることは困難であると考えられるため、他の情報拡散手段と異なり直前に入手した 1 つの情報しか相手に伝えることはできない。また、障害が発生した地点から離れるにつれて情報を伝えることは難しくなるため、障害が発生した地点から離れると人伝で情報を伝達することはできない。

人伝での情報伝達イメージ



道路寸断情報の伝達の流れ

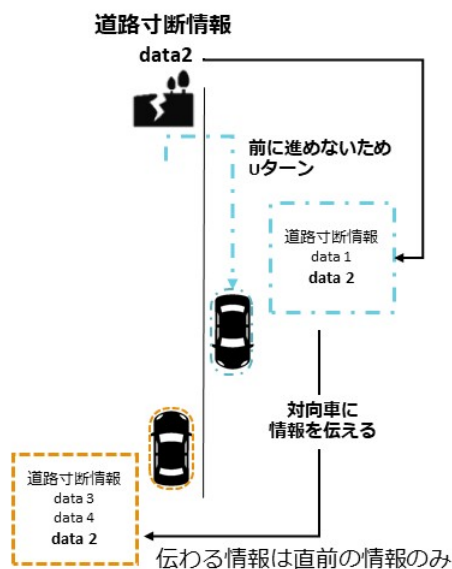


図 3.4 人伝の情報伝達の様子と特徴

## 第 4 章

# シミュレーションモデル

### 4.1 全体の制約

図 4.1 に示すように OpenStreetMap の地図情報 [17] をもとに複数の避難完了地点，リアルタイムに発生する道路の障害，不通信エリアを設定する．車の初期位置はエッジにランダムに配置し，一斉に避難するとする．車は初期配置地点から各避難完了地点までの最短経路を探索し，最もコストが小さい経路を選択して探索経路に沿って走行する．



図 4.1 地図情報の例

## 4.1 全体の制約

### 4.1.1 車の走行速度

制限速度が速い道路は旅行時間が短く、同じ長さの道路でも旅行時間が短い方が車は走行経路に選択しやすいことを再現するために、道路によって車の走行速度を変更する。走行速度は OpenStreetMap で設定された制限速度に沿って設定する。OpenStreetMap では図 4.1.1 のように各エッジに対して制限速度が設定されている。国道でも制限速度が 70km/h や 60km/h の道路があるように、この速度は道路の種類によって一定の値が設定されているわけではない。

```
<tag k="maxspeed" v="60"/> //OpenStreetMap で設定された制限速度  
  
<tag k="name" v="高知東道路"/>  
  
<tag k="name:en" v="Kouchi-East Highway"/>  
  
<tag k="name:ja" v="高知東道路"/>  
  
<tag k="nat_name" v="国道 32 号"/>
```

図 4.1.1 OpenStreetMap から取得したデータの一部

### 4.1.2 道路の容量と渋滞判定

車移動は徒歩移動に比べて道路で混雑しやすい。そのため、道路の混雑状況によって車が進行可能か考える必要がある。本シミュレータでは OpenStreetMap で得たエッジの長さと速度からセルを作成する。あるエッジのセルの個数はエッジの長さを速度で割った商とする。ただし、商が 0 の場合、あるエッジの個数は 1 とする。図 4.2 のエッジ A とエッジ B は同じ長さであるが、速度は図 4.3 よりそれぞれ  $50m/s$  と  $30m/s$  である。上記に従うとそれぞれセルの数は 2 と 3 であり、同じ長さの道路でもエッジ A の方がノード S からノード G へ早く移動することができる。エッジ A とエッジ C ではエッジ A の方が長さが長いが速度が速くセル数が同じ 2 なので、ノード S からノード G までにかかる時間は同じである。1 セルの移動にかかる時間を 1 秒とする。1 セルに侵入できる車の台数は 1 台とし、侵入できない場

## 4.1 全体の制約

合は進行せずに待機する．この待機状態を「渋滞している」とする．

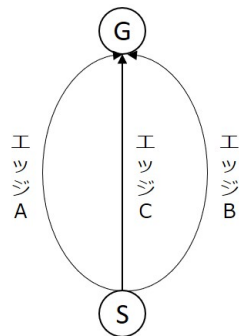


図 4.2 S から G までの 3 つの経路

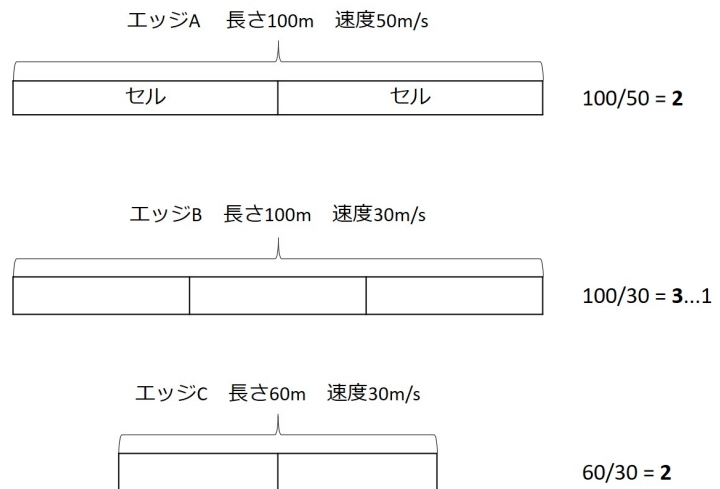


図 4.3 セルの作成

### 4.1.3 道路の障害情報

道路の障害はリアルタイムに発生させる．扱う道路の情報は「通れない」道路の寸断情報に限定し、「道路が渋滞している」という渋滞情報は扱わない．道路の障害が発生すると両面通行止めとし、車は進行が不可能なため図 4.4 のように U ターンする必要がある．さらに右左折が可能な場合は、図 4.5 のように右左折を選択することも可能である．また、車は道路の寸断情報を入手すると寸断が発生した道路を外して、再度全ての避難完了地点への最短経路を求め、最もコストが小さい経路を進行経路に設定する．コストはセルの数とする．

## 4.1 全体の制約

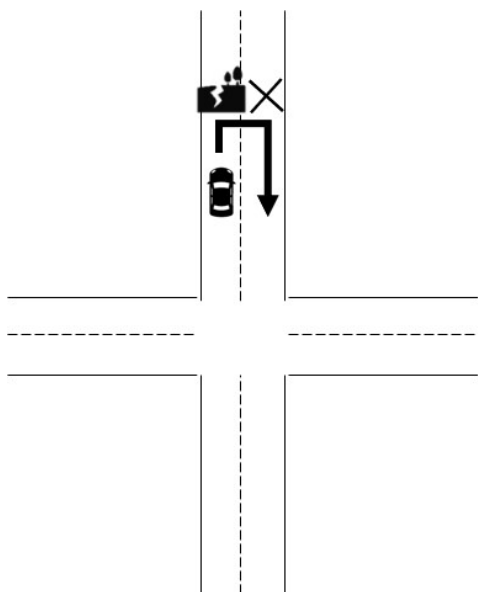


図 4.4 エッジ走行中の道路の寸断

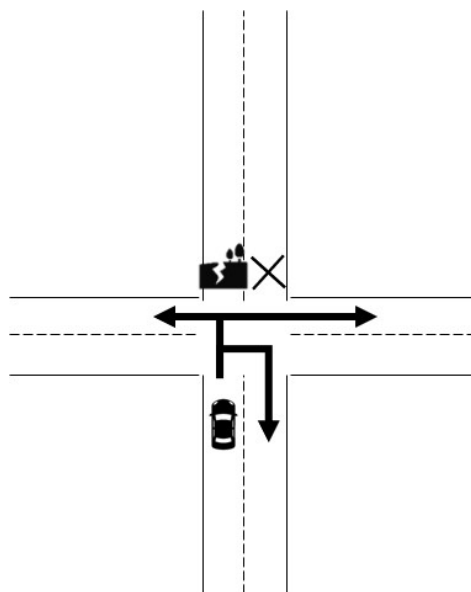


図 4.5 次のエッジへ移動時の道路の寸断

### 4.1.4 U ターンにかかる時間

U ターンを行うには、対向車線に移動を開始してから移動を完了し発進するまで切り返しが必要な場合もあるため、U ターンには時間がかかる。Maksat Omarov らの研究 [18] では U ターンを行う車が渋滞に与える影響を評価しており、実際に車が U ターンにかかる時間のデータを計測したところ、車が減速を始めてから対向車線の交通速度に追いつくまでにかかった時間は約 11.69 秒であった。この値を参考にして、本シミュレータでは道路の車線数に関係なく U ターンには一律 11 秒かかるとする。

## 4.2 情報拡散手段の制約

### 4.2.1 ラジオの制約

本研究では、ラジオが扱う情報は高速道路と国道に限定する。よって、高速道路か国道で道路の寸断に遭遇した車は道路管制センターに通報する。通報を受けた道路管制センターは災害が発生しても道路の状態を確認できるとする。また、道路管制センターが通報を受けた道路の寸断を確認するまでにかかる時間は考慮せず、ラジオの放送時間のみ情報のリアルタイム性に考慮する。ラジオで発信された情報は全ての車が車のラジオで受信し経路探索に取り入れる。平常時、高速道路で落下物があったり事故が発生して通れなくなると、高速道路の入り口が封鎖される。もし高速道路に侵入したいが入り口を閉鎖されたことを知らない車は、高速道路の入り口手前までたどり着いた後に経路変更を強いられる。この動作を再現するために、高速道路で道路の寸断が発生した場合、車が道路の寸断に遭遇しないように道路管制センターは道路の寸断を確認後すぐに一部経路を封鎖する。この道路の封鎖も通れない道路情報として扱う。本シミュレータでは図 4.6 のように、高速道路上で道路の寸断が発生した場合は高速道路に侵入できないようにインターの入り口を封鎖する。また、道路の寸断が発生した地点から一つ手前のインターチェンジでは必ず高速道路から降りるように促す。高速道路までの侵入経路で障害が発生した場合は、図 4.7 のように高速道路を降りれないようにしたり、図 4.8 のように高速道路までの侵入経路にも進行できないように封鎖する。

## 4.2 情報拡散手段の制約

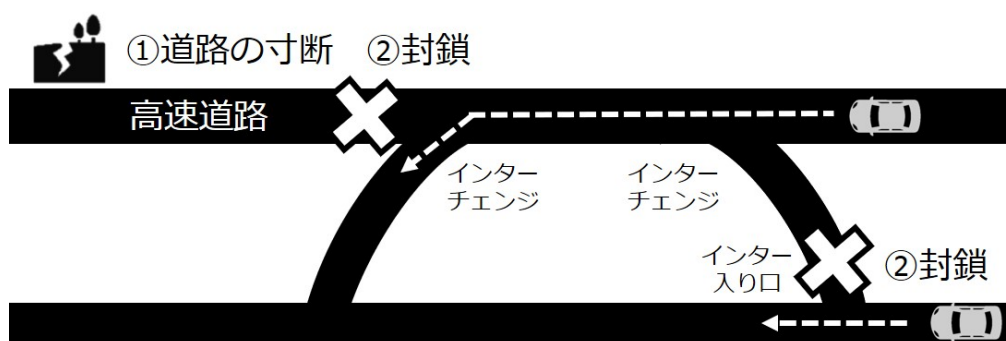


図 4.6 高速道路での道路の寸断例



図 4.7 高速道路侵入経路での道路の寸断例 1



図 4.8 高速道路侵入経路での道路の寸断例 2

## 4.2 情報拡散手段の制約

### 4.2.2 Twitter の制約

不通信エリアを設定し、通信エリアにいる Twitter 利用者のみがインターネットを使用できるとする。通信可能かどうかはセル単位で設定し、不通信エリアに設定されたセルにいる車はツイートを投稿・閲覧することはできない。シミュレーションを行う車のうち 4 割の車を Twitter 利用者とし、道路の寸断について投稿された際には通信可能エリアにいる全ての Twitter 利用者が投稿を閲覧し経路探索に取り入れる。Twitter で流す情報は自車が遭遇した道路の寸断情報と無線通信により入手した道路の寸断情報とする。人伝で入手した情報は詳細な地点が不明なため流さない。また、Twitter では誤った情報が流れる特性があるため正しい情報に加えて「本来なら通れる経路を通れない」という間違った情報も流す。誤った情報を最短経路探索に取り入れると避難時間が長くなる可能性がある (図 4.10)。近年は Twitter の公式アカウントが増え、道路情報も流れるようになった。しかし、本シミュレータでは道路管制センターが確認した情報は Twitter では扱わず、ラジオのみで扱うこととする。

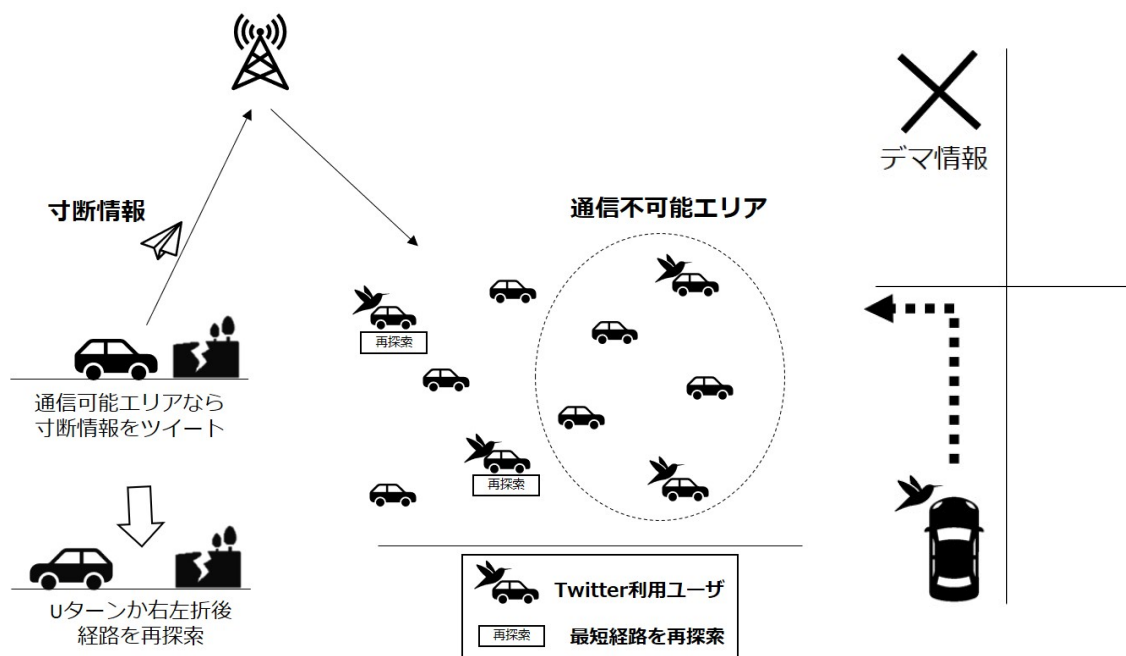


図 4.9 エッジ走行中の道路の寸断

図 4.10 新しいエッジへ  
移動時の道路の寸断

## 4.2 情報拡散手段の制約

### 4.2.3 無線通信の制約

通信量を削減するために、全車との組み合わせの通信は行わず、限られた車のみ同期して情報の送受信を行う。通信方式はスマホ de リレーを参考に Bluetooth LE の使用を想定し通信可能距離は 70m とする [11]. 情報の送受信は車同士の距離が近いものから通信を行うため、同期した全ての車が同じ情報を持つとは限らない。図 4.11 では、 $0m < a, b, c, d, e \leq 70m < f$  とし、同期しようとしている車が W, X, Z だとする。車間の距離が一番短いのは車 X と車 Y であるが、車 Y は非同期であるため情報の送受信は行わない。同期する車間で一番距離が短いのは車 X と車 Z であるため、まず初めに車 X と車 Z が情報を交換する。続いて距離が短い車 X と車 W が情報を交換する。この際、車 X は車 Z が持っていた道路の寸断情報を持っているため、車 W は車 Z が持っていた情報も同時に入手できることになる。最終的な保有情報の変化を表 4.1 に示す。

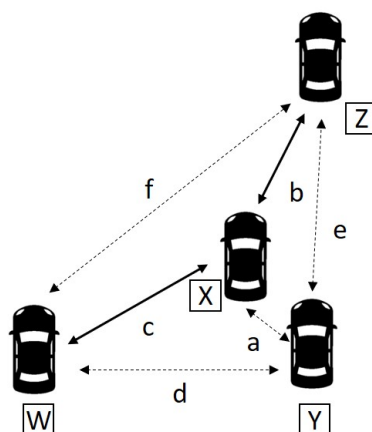


図 4.11 車間の距離

表 4.1 無線通信の順番と保有情報の変化

| 車 | 順番 (通信相手)  | 同期前の保有情報 | 同期後の保有情報            |
|---|------------|----------|---------------------|
| W | 2(X)       | dataW    | dataW, dataZ, dataW |
| X | 1(Z), 2(W) | dataX    | dataX, dataZ, dataW |
| Y |            | dataY    |                     |
| Z | 1(X)       | dataZ    | dataZ, dataX        |

## 4.2 情報拡散手段の制約

### 4.2.4 人伝の制約

道路の寸断情報を見つけた車は対向車に寸断情報を伝える。人伝では寸断地点から離れるにつれて正確な情報を伝えることは難しいことが想定される。そのため、道路寸断地点から距離が遠くなるにつれて、対向車が情報を受け取る確率をエッジが変わる度に低くする。情報受信確率を  $N$  とする。図 4.12 のように道路の寸断を発見すると対向車の情報受信確率は  $N/N = 1$  となる。道路の寸断を発見した車が次のエッジに移動するたびに分子の値が小さくなり対向車の情報受信確率は低下する。情報を受け取った対向車はどこで道路の寸断が起きたのか正確な情報を持っていないため、対向車は受け取った情報を他車には流さない。

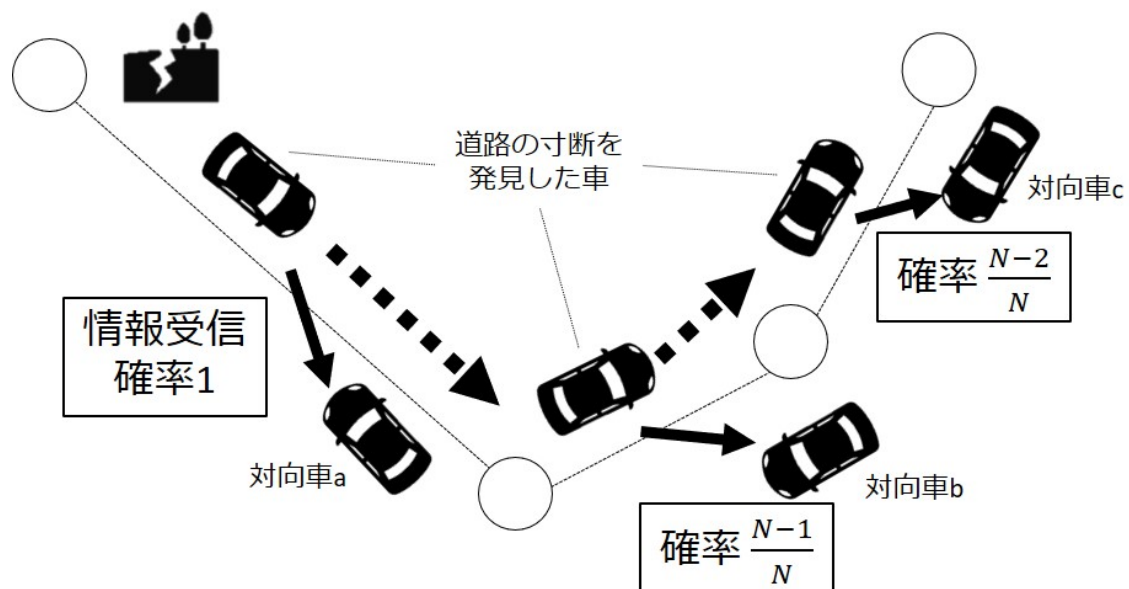


図 4.12 無線通信の情報共有範囲と特徴

### 4.3 シミュレーションの流れ

図 4.13 にある車の 1 ステップの流れをフローチャートに示す。1 ステップは 1 秒とする。まず自車の現在地点が避難完了地点の 1 セル手間に位置する場合、次の進行予定先は避難完了地点であり、その間に障害が発生することはないため避難が完了する。そうでない場合は車は進行予定先のセルに道路の寸断が起きているかを確認する。道路の寸断がある場合は U ターン先の対向車線、さらに右左折が可能な場合は現在地点から道路の寸断があるエッジを除いて各避難完了地点までの最短経路を求め、一番避難完了地点までのセル数が少ない経路を進行予定の経路に再設定する。また、道路管制センターに道路の寸断情報を通報し、自車が Twitter 利用者と通信可能エリアにいる場合は、道路の寸断情報を投稿する。進行先のセルに道路の寸断がなく進行できる場合、他にその地点に位置する他車がないかを確認する。1 ステップ前にその地点に位置していた他車が今ステップでもその地点に位置する場合、他車が優先され、自車は進行予定先に進まずに現在地点に止まる。この 1 ステップ前と今ステップでの位置が変わらないことを本研究では渋滞としている。今ステップでの自車の位置を決定したら情報の送受信を行う。ラジオの放送時間の場合は、自車はラジオから道路の寸断情報を入手する。自車が Twitter 利用者と現在地点が通信可能エリアであり、Twitter に新しい情報が投稿されている場合は投稿を閲覧する。自車が無線通信の同期の時間である場合、半径 70m 内に位置する同じ同期時間の車を探し、距離が近い車から情報の送受信を行う。自車が道路の寸断に遭遇したばかりで提供確率が 0 でなく対向車がいる場合、提供確率に従って対向車に情報を提供する。また、自車が対向車からジェスチャーなどを受け理解できた場合は情報を入手する。情報を理解できたかどうかは相手の提供確率に従う。自車が情報拡散手段によって新しい道路の寸断情報を入手した場合、これまで自車が蓄積した道路の寸断情報も含めて寸断箇所を通らない各避難完了地点までの最短経路を再検索し、進行予定の経路を変更する。ここまでの 1 ステップである。

#### 4.3 シミュレーションの流れ

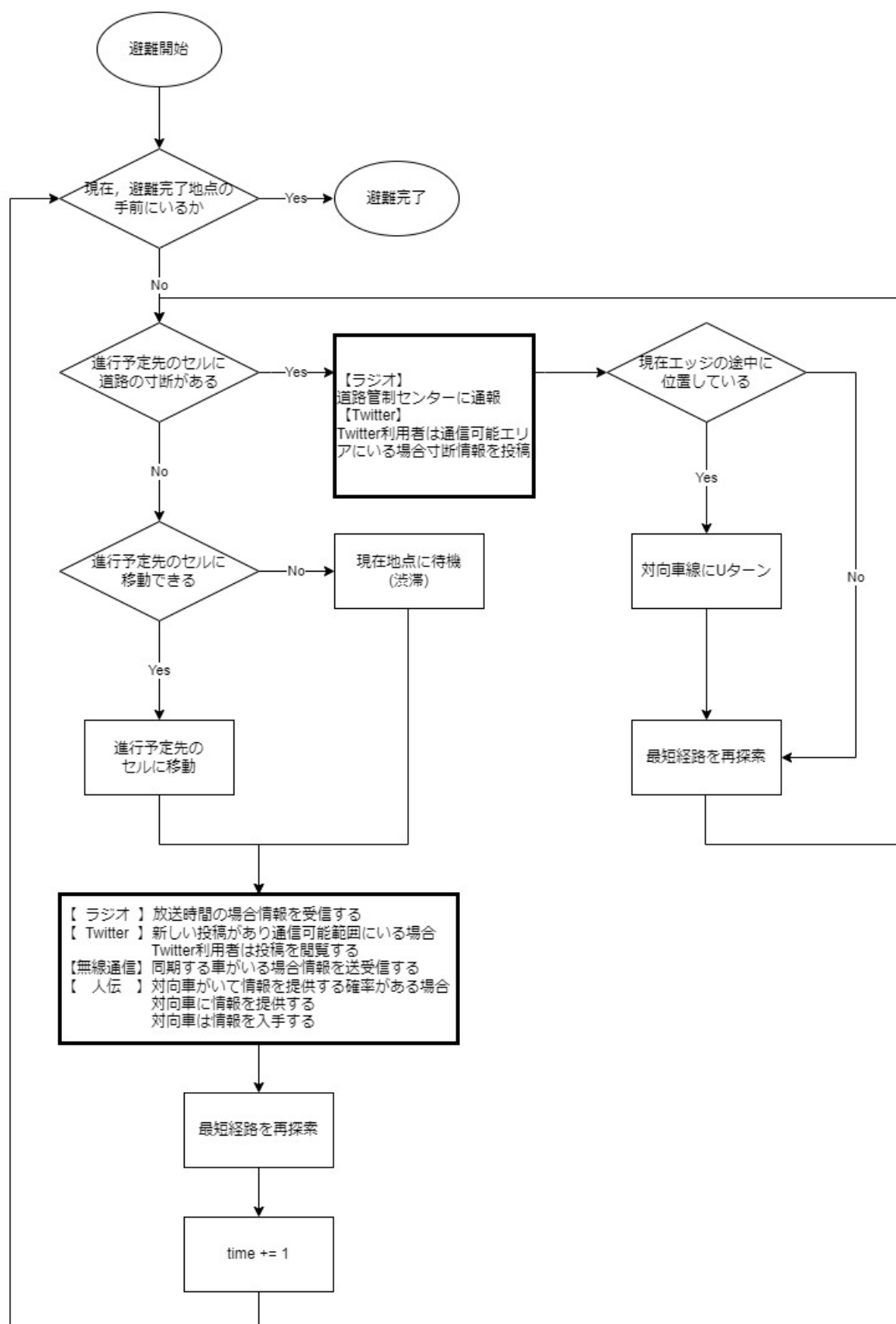


図 4.13 1 ステップの流れ

## 第 5 章

# 提案手法

4つの情報拡散手段の特徴から3つのグループに分類分けを行い、それぞれを提案手法とした。提案手法1, 2, 3の詳細を示す。また、各情報拡散手段を用いるときに送信する情報をまとめた図5.1を示す。

### 5.1 提案手法1の詳細

提案手法1は比較的リアルタイム性が高い情報拡散手段を集めたグループである。このグループには、すぐに道路の寸断情報を投稿できるTwitter、通信範囲内の同期している車であればすぐに情報を送信する無線通信、道路の寸断付近で遭遇した対向車に情報を伝達する人伝を割り当てる。通信可能エリアにいるTwitter利用者は自車が遭遇した道路の寸断情報と、他車から無線通信で得た道路の寸断情報を投稿する。Twitter利用者はTwitterで得た他車からの道路の寸断情報を無線通信で他車へ受け渡すことができる。Twitterは誤った情報も含むため無線通信と併用することで自車も誤った情報を拡散する可能性がある。

### 5.2 提案手法2の詳細

提案手法2は付近の情報を扱う情報拡散手段を集めたグループである。このグループには、70 m内にいる車に情報を送信する無線通信、道路の寸断付近で遭遇した対向車に情報を伝達する人伝を割り当てる。人伝で得た情報は道路の寸断地点が不明なことから他の情報拡散手段では利用せず、無線通信で得た情報は人伝では拡散しないことから、情報拡散手段同士で情報のやり取りは行われぬ。無線通信は全ての車と情報の送受信を行うのではな

### 5.3 提案手法 3 の詳細

く、同じタイミングで同期した車と送受信を行うため、同期を行っていない間に付近の道路の寸断情報を入手できない可能性がある。その穴を人伝で補う効果を期待する。

### 5.3 提案手法 3 の詳細

提案手法 3 は比較的信頼性が高い情報拡散手段を集めたグループである。このグループには、道路管制センターが道路情報を確認するラジオ、実際に道路の寸断に遭遇した車が情報を発信する無線通信と人伝を割り当てる。ラジオは車が経路を選択しやすいと考えられる高速道路や国道の情報を全車に届けることができるが、情報が発信されるまでに時間がかかり、都道府県道や細道の一般道路の情報を入手できないため、高速道路や国道に移動するまでに道路の寸断に遭遇してしまい避難が完了するまでに時間がかかる恐れがある。この問題点を付近の道路寸断情報を入手できる無線通信と人伝を利用することで解消する効果を期待する。

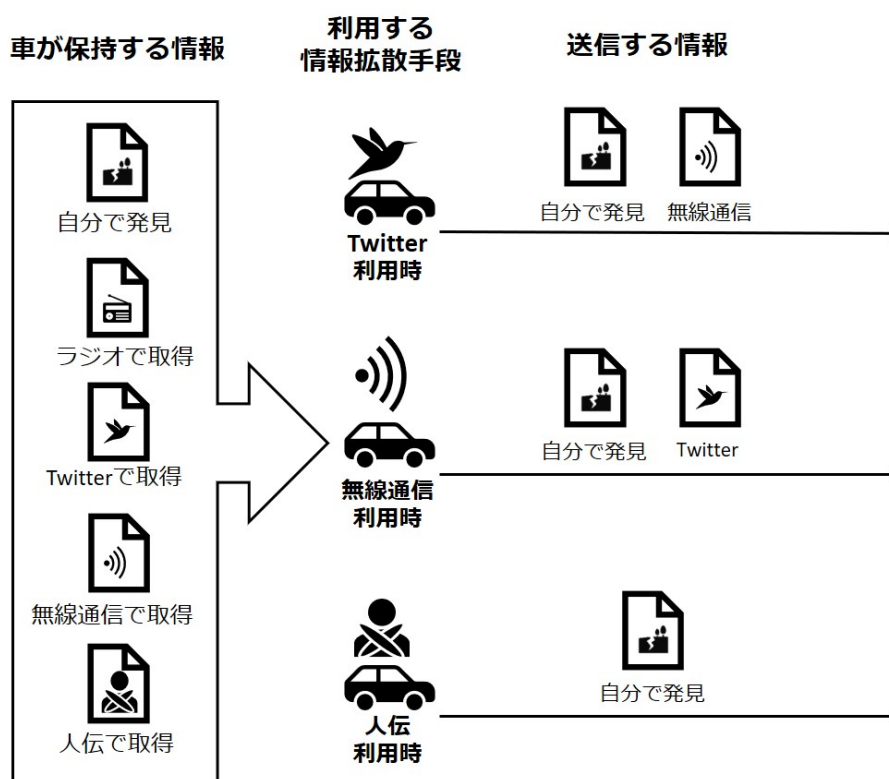


図 5.1 各情報拡散手段が送信する情報

# 第 6 章

## 評価

### 6.1 シナリオ

シミュレーションは、高知県香南市において地震が発生し、車で避難場所へ避難するシナリオを想定した。香南市の道路情報 (座標, 長さ, 速度, 道路の種類) は OpenStreetMap のデータに基づいて設定した。避難完了地点は 10 箇所ランダム選んだ場所に設置する。本シミュレーションで使用する地図情報を図 6.1 に示しており、地図の範囲は約  $8km \times 5km$  である。本研究では津波から逃れることを目的としてるため、避難所の容量は考慮していない。

表 6.1 にシミュレーションパラメータを示す。無線通信や人伝による情報の流れは車の密度によって左右されると考えられる。そのため、避難車が 500 台, 1000 台位置するシナリオにて車の初期位置を変えて各 30 回シミュレーションを行う。道路の寸断箇所はランダムに 20 箇所設置した。そのうち 1 箇所が高速道路, 3 箇所が国道, 7 箇所が一般都道府県道, 9 箇所が主要道路に設置するように設定していることで車が障害に遭遇しやすいようにしている。

避難に時間がかからない場合、ラジオの放送を受信するまでに避難が完了してしまいラジオの効果かわからない。そのため必ず 1 度はラジオ放送を聴けるように、ラジオ単独と提案手法 3 では情報拡散手段未使用時の全車避難完了時間の半分の時間を初期位置として前後の放送時間を決定する。例えばラジオの放送間隔が 400 秒だとする。図 6.2 では情報拡散手段未使用時の避難完了時間が 1200 秒であるため、 $1200 \text{ 秒} / 2 = 600 \text{ 秒}$  にラジオ使用時は必ず放送を行う。放送間隔が 400 秒であるため 1200 秒までの間では 200 秒と 1000 秒時にもラジオ放送を行う。

## 6.1 シナリオ

不通信エリアの割合は通信できないセルの割合を示している．例えばセルの総数が 1000 個でそのうち 100 箇所のセルで通信が行えない場合，不通信エリアの割合は 10%である．不通信エリアの有無が Twitter を利用した避難に与える影響を調査するために，不通信エリアの割合が 0%と約 9.34%の場合でシミュレーションを行う．

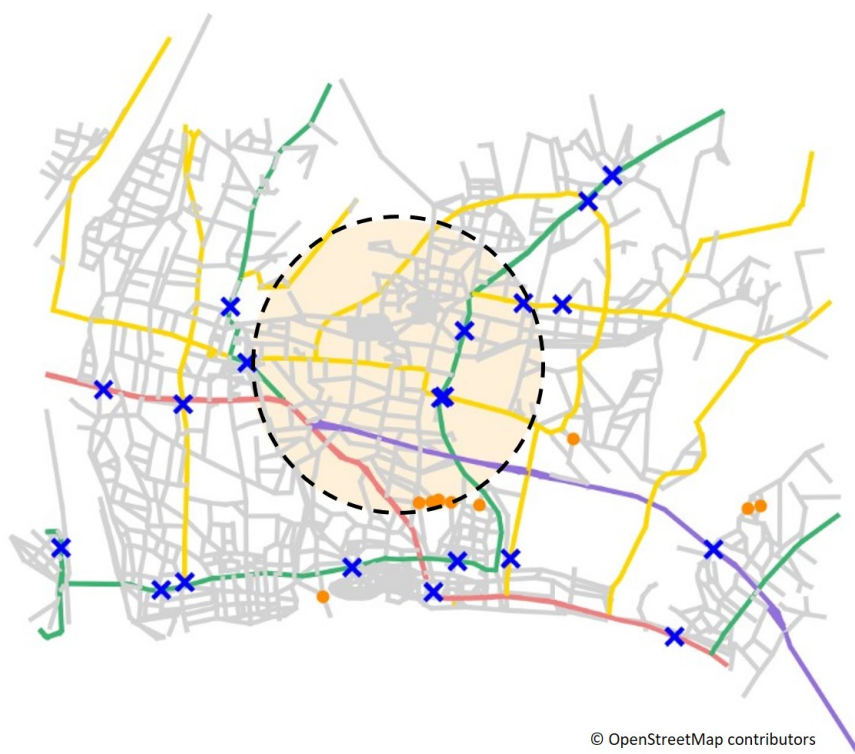


図 6.1 地図情報

表 6.1 シミュレーションパラメータ

| パラメータ       | 値             |
|-------------|---------------|
| 避難車数        | 500 台, 1000 台 |
| 道路の寸断数      | 20 個          |
| ラジオの放送間隔    | 25 分          |
| 不通信エリアの割合   | 0%, 約 9.34%   |
| 誤った道路寸断情報   | 5 個           |
| 無線通信距離      | 70 m          |
| 各車の無線通信同期間隔 | 3 秒, 10 秒     |
| 人伝確率 $N$    | 3             |

## 6.2 評価指標

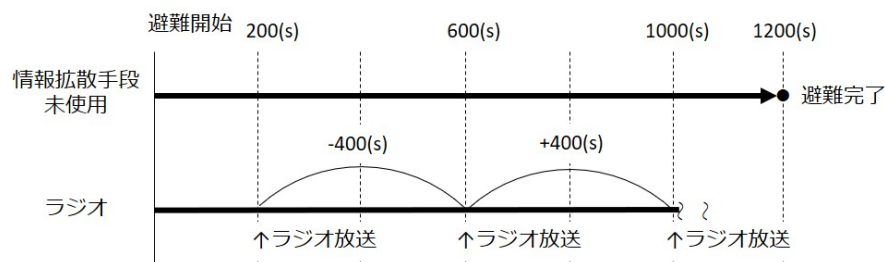


図 6.2 ラジオの放送時間

## 6.2 評価指標

車が一斉に避難を開始してから全ての車の避難が完了するまでの時間を全車避難完了時間とする。提案手法 1,2,3 を用いた場合の全車避難完了時間を比較評価する。比較対象は、情報拡散手段未使用の場合、それぞれを単独で使用した場合である。

## 6.3 結果

シミュレーションの結果を下記の観点から評価する。下記 (a)～(d) は Twitter 利用者が 4 割の場合で評価を行っており、この値は令和 2 年度の Twitter 利用者の平均が 4 割であったことから普段 Twitter を使用する全員が震災直後に Twitter を利用することになる。しかし、東日本大震災では普段 Twitter を利用していた約半数が震災直後に Twitter を利用していることから、本来の Twitter 利用者数はもっと低い可能性がある。そこで、Twitter 利用者が避難車の 2 割の場合でもシミュレーションを行ったため、その結果を (e) に示す。

- (a) 情報拡散手法未使用・単独と比較した提案手法の結果
- (b) 避難車数の違いによる結果
- (c) 不通信エリアの有無による結果
- (d) 無線通信間隔の違いによる結果
- (e) Twitter 利用者数の違いによる結果

## 6.3 結果

### (a) 情報拡散手法未使用・単独と比較した提案手法の結果

図 6.3 から図 6.8 では提案手法を四角、比較手法を丸で囲っている。

#### 提案手法 1

提案手法 1 は情報拡散手段未使用と Twitter・無線通信・人伝を単独で使用した場合と比べて、図 6.3 の不通信エリアありで無線通信間隔が 3 秒の場合は差がでなかったが、その他の場合は提案手法 1 の方が全車避難完了時間を短縮できた。

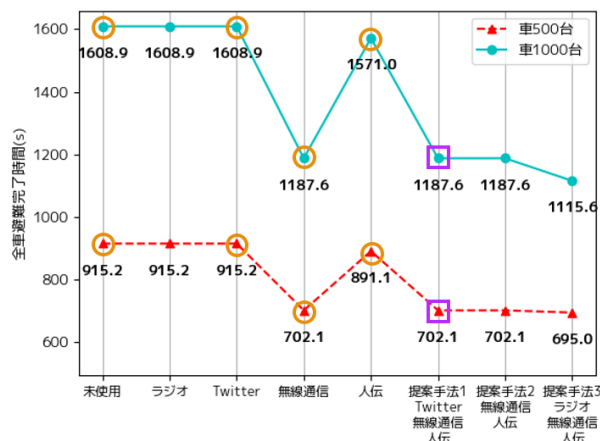


図 6.3 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒

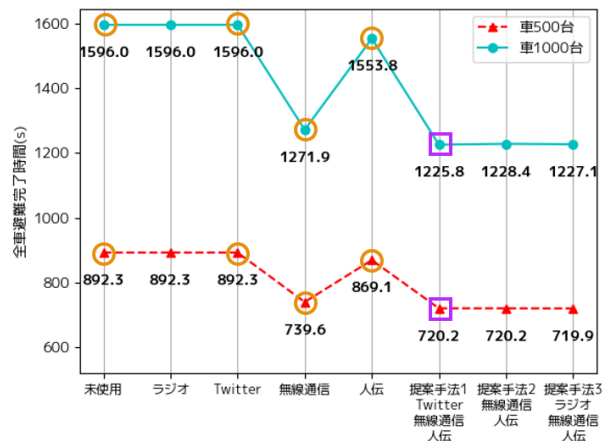


図 6.4 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒

#### 提案手法 2

提案手法 2 は情報拡散手段未使用と無線通信・人伝を単独で使用した場合と比べて，無線通信間隔が短い 3 秒の場合は差が出なかったが，無線通信間隔が 10 秒の場合は提案手法 2 の方が全車避難完了時間を短縮できた。

### 6.3 結果

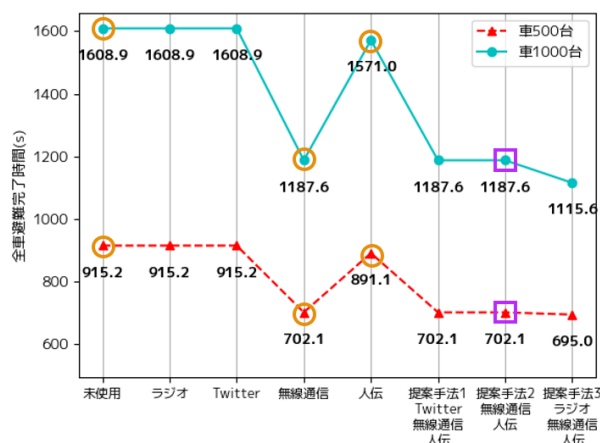


図 6.5 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒

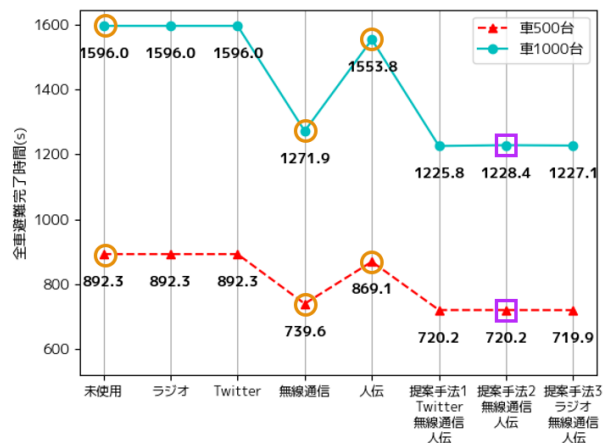


図 6.6 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒

#### 提案手法 3

提案手法 3 は情報拡散手段未使用とラジオ・無線通信・人伝を単独で使用した場合と比べて，提案手法 3 はラジオは放送のタイミングが一度しかなかったのにも関わらず，全ての場合で全車避難完了時間を短縮できた。

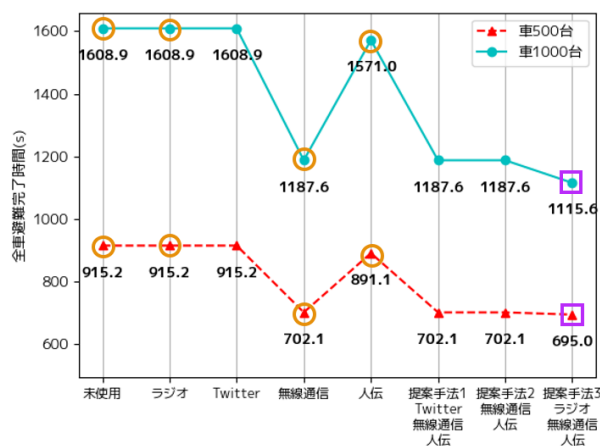


図 6.7 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒

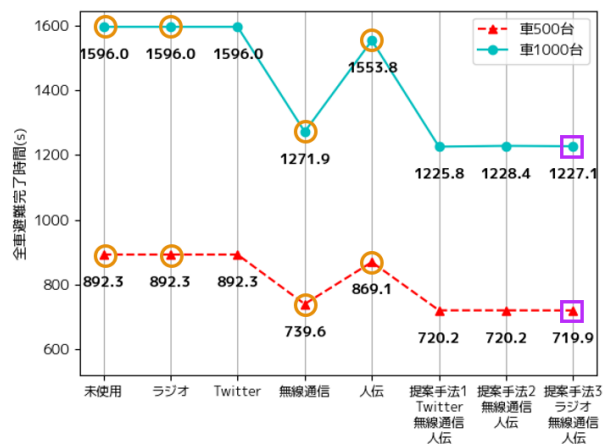


図 6.8 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒

#### (b) 避難車数の違いによる結果

情報拡散手段未使用と各情報拡散手段を単独での使用と提案手法 1, 2, 3 間の差は避難車が多いほど差が大きくなり，情報拡散手段の関係に違いは見られなかった。

## 6.3 結果

### (c) 不通信エリアの有無による結果

図 6.9 より不通信エリアがない場合は、Twitter を含む手法である Twitter 単独と提案手法 1 は全車避難完了時間を全体的に比べると大幅に短縮できた。図 6.10 より不通信エリアがある場合は、情報拡散手段未使用と Twitter 単独で差がなかったため Twitter 単独の効果が見られなかった。また、Twitter を含む提案手法 1 と Twitter を含まない提案手法 2 で全車避難完了時間に差が見られなかった。ただし、提案手法 1 と提案手法 2 は全体的に見ると全車避難完了時間が短い。

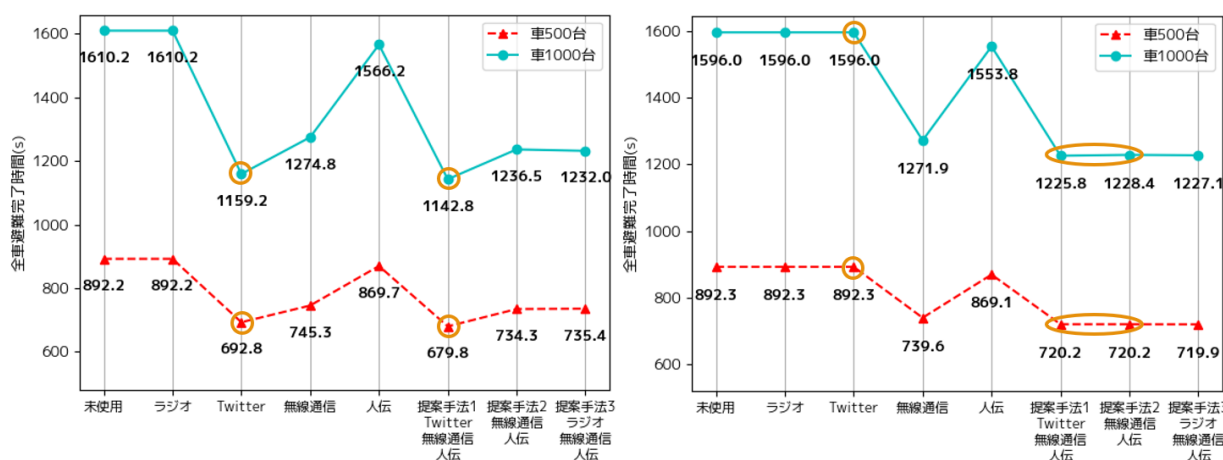


図 6.9 不通信エリアなし，無線通信同期 10 秒      図 6.10 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒

### (d) 無線通信間隔の違いによる結果

図 6.11 より無線通信間隔が短い 3 秒の場合は、無線通信単独と提案手法 2 で差が見られなかった。図 6.12 と図 6.13 より無線通信間隔が長い 10 秒の場合は、全車避難完了時間を最大 132 秒、少なくとも 38 秒短縮できた。図 6.14 は 1000 台の全ての車が避難を完了するまでにかかった無線通信回数の合計を示しており、無線通信の同期間隔を 3 秒から 10 秒にすることで通信量を削減できることを確認できた。このことから、無線通信の同期間隔が短い場合は、遠方の情報を入手できる Twitter やラジオをそれぞれ組み合わせた提案手法 1, 3 が効果的であり、付近の情報入手を目的とする場合は人伝を組み合わせなくても無線通信単独で事足りることがわかった。一方、無線通信の同期間隔が長い場合は無線通信単独だけ

## 6.3 結果

では付近の情報を十分に入手できない．人伝を用いることで非同期間の付近情報を入手できるため，情報拡散手段を組み合わせる使用することが有効であることがわかった．

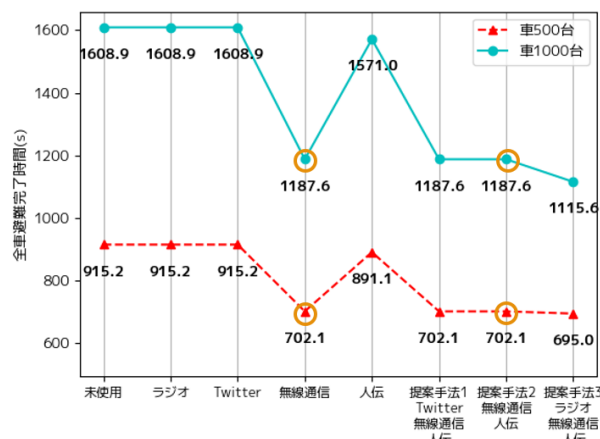


図 6.11 不通信エリアあり，無線通信同期 3 秒

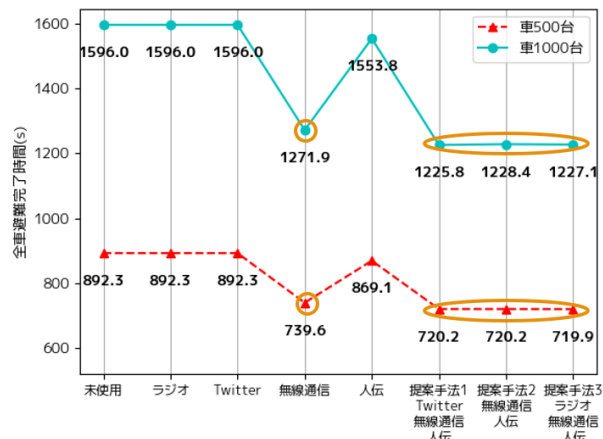


図 6.12 不通信エリアあり，無線通信同期 10 秒

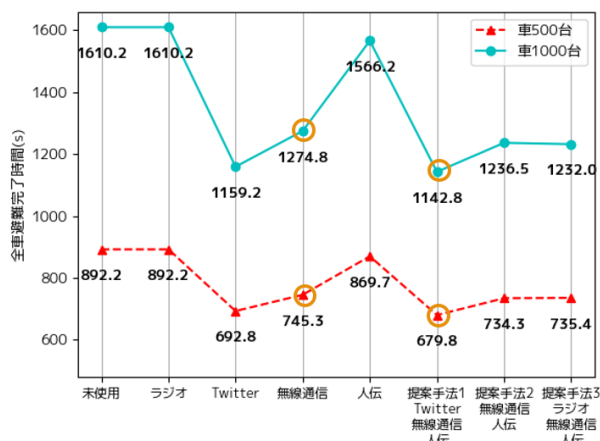


図 6.13 不通信エリアなし，無線通信同期 10 秒

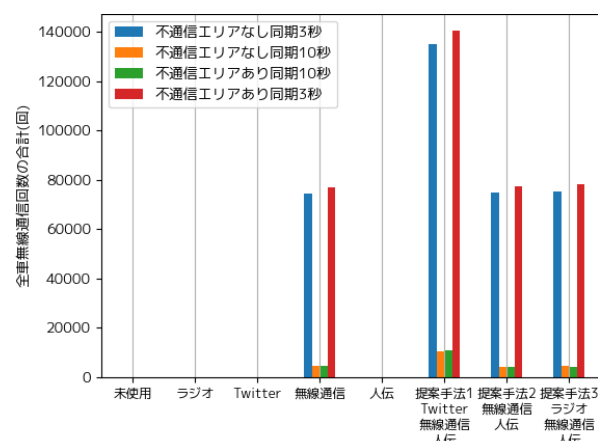


図 6.14 全車無線通信回数の合計

### (e) Twitter 利用者数の違いによる結果

Twitter 利用者が 4 割と 2 割の場合を比べる．図 6.16 より Twitter の利用者数が 2 割に減ると，不通信エリアが無く単独で Twitter を利用した場合は，単独で無線通信を利用した場合と比べて全車避難完了時間が長くなった．しかし，他の情報拡散手段を組み合わせた提案手法 1 は Twitter 利用者数が 2 割になっても，全車避難完了時間が短かった．

## 6.4 考察

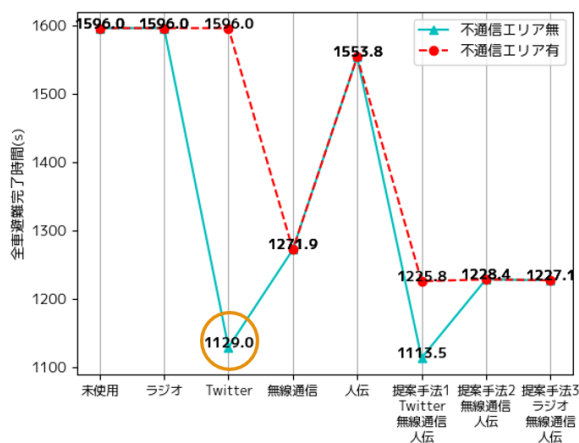


図 6.15 Twitter 利用者 4 割

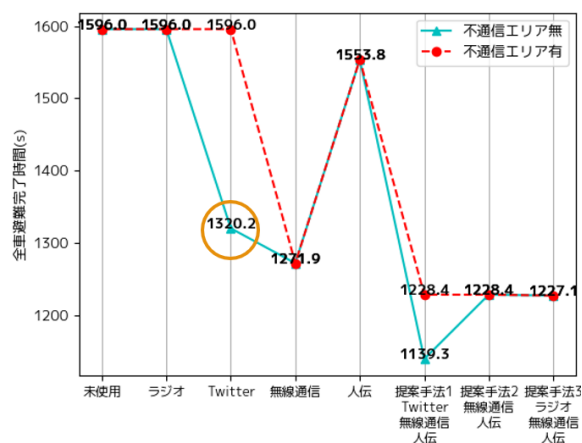


図 6.16 Twitter 利用者 2 割

## 6.4 考察

(a) より、ラジオは車が経路選択しやすい道路の情報を全車に発信できる利点があるものの、付近の道路情報を入手できないため単独では効果を発揮しなかったが、無線通信と人伝の利点加わることで相乗効果が生まれたと考える。(b) より、避難車が多いほど避難時間に差が出たのは、避難車が多いほど道路の寸断を車が発見しやすいことから他車に情報を拡散することができ、道路の寸断に遭遇する後続車が少なくなったと考えられる。(c) より、付近で不通信エリアがない場合は Twitter 単独でも高い効果を期待できるが、実際は基地局が被災したり、大多数の人が利用することで通信障害が発生したり、圏外エリアに侵入したりといふ通信できなくなるかわからない。Twitter は無線通信と人伝を組み合わせることで、避難途中にインターネット通信ができなくなってもリアルタイムに変化する道路環境に対応でき避難時間を短縮できると考えるため、災害時は Twitter だけでなく、無線通信と人伝を組み合わせる利用することが望ましいと考えられる。(d) より、災害時は通信量をなるべく低減することが望ましいことが考えられるため、実際の災害における避難を想定すると無線通信の同期間隔が 10 秒の場合で情報拡散手段組み合わせの効果を考えた方がよいと考えられる。(e) より、Twitter の利用者が 4 割から 2 割に減少し Twitter 単独の効果が低くても、複数組み合わせた場合は情報拡散手法を未使用の場合と単独の場合に比べて全車避難

## 6.4 考察

完了時間が短いことから、情報拡散手段を複数組み合わせることは Twitter の利用者数が少なくても効果を得られる可能性が高い。以上の結果と考察より、複数の情報拡散手段を組み合わせることは避難時間の短縮に効果があると考えられる。

## 第 7 章

# おわりに

### 7.1 まとめ

本研究では、災害発生時に車で避難する際に、複数の情報拡散手段を用いてリアルタイムに変化する道路の状況を避難経路探索に取り入れる有効性を示した。情報拡散手段を未使用の場合や単独で用いた場合と比較し、複数組み合わせて使用した場合は全車避難完了時間が短くなることをシミュレーションにより明確化した。

### 7.2 今後の課題

本シミュレーションは、車が経路に選択しやすい道路の優先順位をつけるために平常時の制限速度を基に走行速度を設定している。しかし、災害時の車の走行速度の平均は速度は  $8.78\text{km/h}$  である [19]。無線通信は通信できる範囲があり、車の走行速度によって情報拡散の流れが変化する可能性がある。そのため、災害時の平均走行速度をもとに避難車の走行速度を決定して走行速度が遅い場合を検証する必要がある。また、避難者が進行予定の経路が渋滞していることを目視で確認でき、右左折可能な地点にいる場合、実際の避難ではその時点で経路変更を行うことを予想できるが、今回のシミュレーションでは渋滞時の経路変更を含めていない。そのため、渋滞を目視した車の経路変更を行うようにすると避難時間を短縮できる可能性がある。さらに、自車が渋滞に巻き込まれている場合に道路の寸断情報だけでなくその地点が渋滞している情報も流すことで、他車を渋滞から回避させ避難完了地点に到達できる時刻を早めることができる可能性がある。これらの動作をシミュレーションに取り

## 7.2 今後の課題

入れた場合も検証することも今後の課題である.

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教員及び主査である高知工科大学情報学群横山和俊教授には，多くのご指導をいただき深謝申し上げます．また，同学コースの高田喜朗教授，植田和憲講師には本研究の副査をお引き受け頂き，ご指摘とご質問を頂きましたことを感謝申し上げます．最後に，同研究室の皆様，友人は研究活動の励みとなっていました．深く感謝いたします．

# 参考文献

- [1] 国土交通省都市局街路交通施設課・都市計画課：東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果（速報）～，<https://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>，（2023年2月2日閲覧）.
- [2] Satoru Ishido，：「奇跡は『偶然』ではおきない」園児を津波から救った保育所長が伝えたこと，<https://www.buzzfeed.com/jp/satoruishido/3-11-yuriage-hoiku>，（2023年2月2日閲覧）.
- [3] 総務省: 通信・方針インフラの強靱化による安心・安全の実現，<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc154110.html>，（2022年2月28日閲覧）.
- [4] 国立研究開発法人 情報通信研究機構: 災害に強い情報通信ネットワーク導入ガイドライン，<https://www.nict.go.jp/resil/topics20200611.html>，（2023年1月29日閲覧）.
- [5] 松島弘，アランニャ・クラウド，狩野均: 避難者の情報伝達を考慮した地震・津波避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル，情報処理学会研究報告，Vol.2015-MPS-106，No.4（2015）.
- [6] 丹羽俊徳，岡谷賢，高橋友一: 避難シミュレーションにおける SNS 上の情報伝達の効果について，人工知能学会第二種研究会資料，SAI-017，02.（2023）.
- [7] FuliAi, Louise, K.Comfort, Yongqiang Dong, TaiebZnati :A dynamic decision support system based on geographical information and mobile social networks: A model for tsunami risk mitigation in Padang, Indonesia - ScienceDirect, Safety Science, 90, pp.62-74（2016）.
- [8] 片岡拓海，瀧島和則，本間可楠，小比賀亮仁，深谷将，廣井慧，篠田陽一: みんな: 水害発生時の避難行動を促進する情報の表現形式を備えたスマホアプリ，情報処理学会研究

## 参考文献

- 報告, Vol.2022-CDN-34, No.4, pp.1-6 (2022).
- [9] 矢原祐大, 加藤新良太, 高井峰生, 石原進: 異種無線混合 DTN を用いた道路寸断情報共有による避難時間の短縮, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2226 論文集, pp.1443-1451 (2020).
- [10] 公益財団法人日本道路交通情報センター: 道路交通情報 放送時刻表一覧, <https://www.jartic.or.jp/>, (2023 年 1 月 29 日閲覧).
- [11] 大内夏子, 西浦升人, 濱田高志: 通信途絶環境下での自助・共助活動を支える情報通信技術, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol.15, No.3, pp.219-227(2021).
- [12] 総務省: 災害時における情報通信の在り方に関する調査結果 (概要), [https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h24\\_05\\_gaiyo.pdf](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h24_05_gaiyo.pdf), (2023 年 1 月 30 日閲覧).
- [13] 総務省: 令和 2 年度情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000765258.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000765258.pdf), (2023 年 1 月 30 日閲覧).
- [14] 横部径, 仲谷善雄: Twitter を活用した災害時周辺情報の収集と情報精度の評価システム, 第 74 回全国大会講演論文集, pp.663-664 (2012).
- [15] NICT DISAANA 対災害 SNS 情報分析システム, <https://disaana.jp>, (2023 年 2 月 1 日閲覧).
- [16] NICT D-SUMM 災害状況要約システム, <https://disaana.jp/d-summ>, (2023 年 2 月 1 日閲覧).
- [17] OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/copyright/>, (2022 年 12 月 1 日入手).
- [18] M.Omarov, S.Ismail, WNMWM.Rani, S.Durdyev :Estimation of Traffic Delay Due to U-Turns at Uncontrolled Medians: Case Study in Phnom Penh, Cambodia, Sustainability 14 (1), 118 (2021).
- [19] 内閣府防災情報のページ: 自動車で安全かつ円滑に避難できる方策, <https://www.>

## 参考文献

[bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/5/pdf/3.pdf](https://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/5/pdf/3.pdf), (2023 年 1 月 30 日閲覧).

# 付録 A

## シミュレーション結果

図 A.1 から図 A.4 は Twitter 利用者が 4 割の場合のシミュレーション結果である。

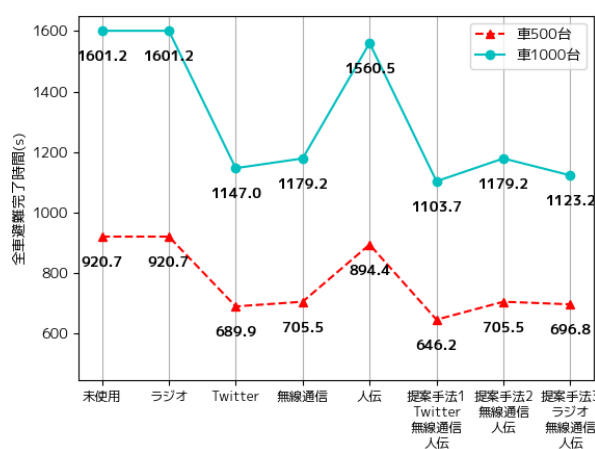


図 A.1 不通信エリア無 無線通信間隔 3 秒

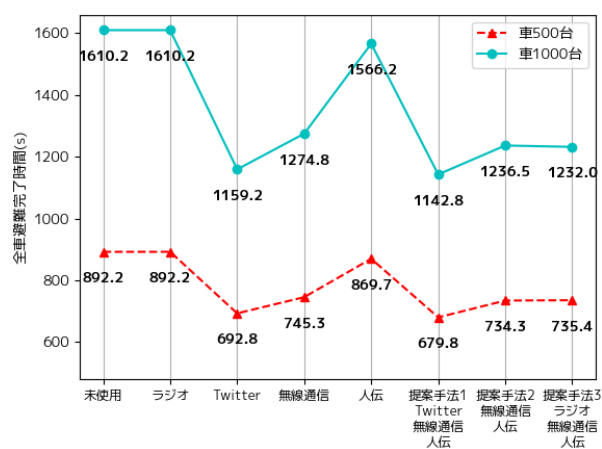


図 A.2 不通信エリア無 無線通信間隔 10 秒

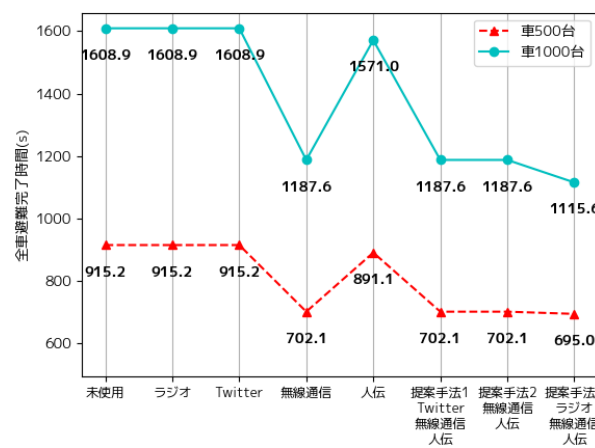


図 A.3 不通信エリア有 無線通信間隔 3 秒

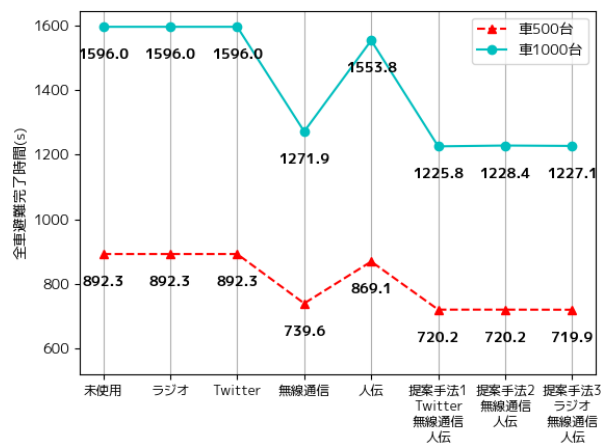


図 A.4 不通信エリア有 無線通信間隔 10 秒