

令和5年度
修士学位論文

震災時の避難行動を支援する災害情報の 拡散手段に関する検討

Consideration of Disaster Information Dissemination
Channels to Support Evacuation Measures During
Earthquakes

1265104 杉野 修弥
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

震災時の避難行動を支援する災害情報の 拡散手段に関する検討

杉野 修弥

東日本大震災以降、災害時の避難手段として、やむを得ない場合に限り、自動車での避難が認められるようになった。自動車避難の問題点として、信号の不点灯、建物の倒壊や陥没による道路閉塞、交通渋滞が挙げられる。また、震災時には津波遭遇にするリスクや浸水による道路消失が考えられる。本研究では、災害情報と情報拡散手段を組み合わせた避難行動について検討する。災害情報は道路閉塞と渋滞情報を拡散し、津波の到達を考慮する。情報拡散手段には、人伝、ラジオ、SNS、v2vを使用する。災害情報と情報拡散手段の種類による有効性をシミュレーションにより評価した結果、道路閉塞箇所や考慮する災害情報によって、有効な拡散手段が異なった。情報拡散手段を単体で使用する場合、拡散範囲や拡散できる情報量に影響を受けやすく、考慮する災害情報が多くなるほど、経路変更回数の増加によりデマ情報の影響力が大きくなる。複数組み合わせた場合には、デマ情報の拡散力は強くなり、特に、SNSを使った場合はデマの影響力が大きくなる。

キーワード 避難経路、道路閉塞、津波、渋滞、情報共有

Abstract

Consideration of Disaster Information Dissemination Channels to Support Evacuation Measures During Earthquakes

Shuya Sugino

Since the Great East Japan Earthquake, evacuation by car has been permitted only when absolutely necessary as a means of evacuation during disasters. Issues with car evacuation include signal failures, road closures due to building collapse or subsidence, and traffic congestion. Additionally, during earthquakes, there is a risk of encountering tsunamis and roads disappearing due to flooding. This study examines evacuation actions combining disaster information and information dissemination channels. Disaster information includes disseminating road closure and congestion information while considering tsunami arrival. Information dissemination channels include word-of-mouth, radio, social media, and vehicle-to-vehicle communication. Evaluation through simulation based on the type of disaster information and information dissemination channels revealed that effective dissemination methods varied depending on the location of road closures and the disaster information considered. When using individual information dissemination channels, the extent and amount of information that can be disseminated are easily influenced, and as the number of disaster information considerations increases, the influence of misinformation grows due to an increase in route changes. In addition, when multiple channels of information dissemination are combined, the dissemination power of misinformation becomes stronger, especially when SNS is used.

key words Evacuation routes, road closures, tsunami, traffic congestion, information sharing

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	関連研究	3
第 3 章	災害情報モデル	5
3.1	道路閉塞	5
3.2	渋滞	6
3.3	津波遭遇リスク	6
第 4 章	情報拡散手段モデル	7
4.1	人伝	7
4.2	ラジオ	8
4.3	SNS	8
4.4	v2v	10
第 5 章	シミュレーションモデル	13
5.1	道路ネットワークモデル	13
5.2	津波到達モデル	15
5.3	車両モデル	16
5.4	再経路探索モデル	16
5.5	津波を考慮した経路探索モデル	17
第 6 章	評価	19
6.1	実験環境	19
6.2	評価項目	20
6.3	結果と考察	22

目次

6.3.1	情報拡散手段を単体で使用した場合	22
	(a) 道路閉塞のみを考慮	22
	(b) 道路閉塞と渋滞を考慮	25
	(c) 道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮	27
	(d) 道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮	29
6.3.2	情報拡散手段を複数組み合わせで使用した場合	31
	(a) 道路閉塞のみを考慮	31
	(b) 道路閉塞と渋滞を考慮	35
	(c) 道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮	39
	(d) 道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮	42
第7章	おわりに	46
	謝辞	47
	参考文献	48
	付録 A	50

目次

4.1	人伝モデル	8
4.2	ラジオモデル	9
4.3	SNS モデル	10
4.4	v2v モデル	11
5.1	高知県香南市のハザードマップ	14
5.2	OpenStreetMap 上での高知県香南市の地図 (2023 年)	14
5.3	SUMO 上での高知県香南市の地図	15
5.4	一般的なグラフへの変換	15
5.5	災害情報を考慮した道路ネットワークモデル例	18
6.1	データ Ax (道路閉塞のみ考慮)	24
6.2	データ Bx (道路閉塞のみ考慮)	24
6.3	データ Cx (道路閉塞のみ考慮)	24
6.4	データ Dx (道路閉塞のみ考慮)	24
6.5	データ Ex (道路閉塞のみ考慮)	24
6.6	データ Ax (道路閉塞と渋滞を考慮)	26
6.7	データ Bx (道路閉塞と渋滞を考慮)	26
6.8	データ Cx (道路閉塞と渋滞を考慮)	26
6.9	データ Dx (道路閉塞と渋滞を考慮)	26
6.10	データ Ex (道路閉塞と渋滞を考慮)	26
6.11	データ Ax (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	28
6.12	データ Bx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	28
6.13	データ Cx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	28

目次

6.14	データ Dx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	28
6.15	データ Ex (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	28
6.16	データ Ax (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	30
6.17	データ Bx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	30
6.18	データ Cx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	30
6.19	データ Dx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	30
6.20	データ Ex (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	30
6.21	データ Ay (道路閉塞のみ考慮)	32
6.22	データ By (道路閉塞のみ考慮)	32
6.23	データ Cy (道路閉塞のみ考慮)	33
6.24	データ Dy (道路閉塞のみ考慮)	33
6.25	データ Ey (道路閉塞のみ考慮)	34
6.26	データ Ay (道路閉塞と渋滞を考慮)	36
6.27	データ By (道路閉塞と渋滞を考慮)	36
6.28	データ Cy (道路閉塞と渋滞を考慮)	37
6.29	データ Dy (道路閉塞と渋滞を考慮)	37
6.30	データ Ey (道路閉塞と渋滞を考慮)	38
6.31	データ Ay (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	39
6.32	データ By (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	40
6.33	データ Cy (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	40
6.34	データ Dy (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	41
6.35	データ Ey (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)	41
6.36	データ Ay (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	43
6.37	データ By (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	43
6.38	データ Cy (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	44
6.39	データ Dy (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	44

図目次

6.40 データ E _y (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)	45
A.1 道路閉塞パターン A	50
A.2 道路閉塞パターン B	51
A.3 道路閉塞パターン C	51
A.4 道路閉塞パターン D	52
A.5 道路閉塞パターン E	52

表目次

4.1	v2v モデルのデータ更新例	12
4.2	車両 A の保持データ	12
4.3	車両 B の保持データ	12
4.4	車両 A と車両 B の共有後データ	12
6.1	実験環境	19
6.2	シミュレーションパラメータ	21

第 1 章

はじめに

震災時の避難手段は原則として徒歩であるが、2011年の東日本大震災について、内閣府・消防庁・気象庁が実施した共同調査では、調査対象の約 57% が自動車での避難を行っていた [1]。また、自動車避難により、徒歩での避難が困難な幼児や高齢者が被災を免れた事例も報告されており自動車避難の有効性も明らかとなった [2]。このため、平成 24 年には、災害時の避難手段として、やむを得ない場合に限り、自動車での避難が認められるようになった [3]。このような背景から、自動車避難を取り入れた避難計画も検討されており、安全な避難行動を支援するための研究も行われている。

安全な避難行動を実現するために、現状の自動車避難の問題点を改善する必要がある。国土交通省の調査では、津波からの避難する際の問題点として、信号の不点灯、建物の倒壊や陥没による道路閉塞、交通渋滞が挙げられた [4]。東日本大震災以降に発生した三陸沖地震や福島沖地震では、津波警報が発令された際に多くの人々が自動車避難を行ったため、渋滞が多発し、車両での自由避難の危険性が問題となった [5]。他の問題点として、津波に遭遇するリスクや浸水による道路消失が考えられる。特に沿岸部の地域では、避難する方向や経路によって津波との遭遇率が変化するため、安全な避難の実現には、津波遭遇リスクを考慮する必要がある。これらの問題点から、道路状況や津波遭遇リスクを考慮して津波避難計画を作成する必要があるが、震災時の状況を事前に予測することは困難である。そのため、近年では震災発生後、リアルタイムに避難行動を支援する方法が検討されている。

リアルタイムに避難行動を支援する方法として、情報分野技術との融合が注目されている。特に、近年の車両は IoT 化が進みインターネット接続や無線機器による通信が可能となっている。そのため、車両が道路閉塞や渋滞を発見した際に、搭載された通信機器によっ

て情報を拡散を行うことで、震災時の状況に応じたリアルタイムな避難行動支援が実現できる。このような情報拡散手段を利用することにより、道路閉塞による迂回や渋滞による待ち時間が短縮され、避難速度の向上と交通の効率化が期待できる。また、震災時にはスーパーコンピュータが自動的に優先利用され、リアルタイムな津波浸水推定が行われる [6]。推定した津波遭遇リスクを共有することで、津波遭遇リスクを考慮した避難行動が実現でき、津波との遭遇率を低減させることも可能である。

技術の進歩により、情報拡散手段を用いた道路閉塞、渋滞情報の拡散や、津波遭遇リスクの考慮により、安全な避難行動を支援することは可能である。しかし、情報拡散手段を用いた情報共有に関して、災害情報と情報拡散手段の種類による有効性についての調査は行われていない。そのため、拡散する情報によって、拡散範囲やリアルタイム性といった情報拡散手段の特徴への依存度が高い可能性があり、場合によっては、情報を拡散することによる被災車両数の増加が考えられる。

本研究では、災害情報と情報拡散手段の種類による有効性を被災車両数を用いて評価する。情報拡散手段は、人伝、ラジオ、SNS (Social Networking Service) ,v2v(Vehicle-to-Vehicle) を使用し、単体での使用した場合と複数組み合わせで使用した場合の 2 項目で結果を取得する。結果の取得には、シミュレータには車線数やカーブの原則など詳細な交通シミュレーションが可能である SUMO (Simulation of Urban MObility) を使用する。そして、震災時の避難行動を支援する災害情報の拡散手段に関する検討を行う。

第 2 章

関連研究

本章では、災害時の避難行動を支援する研究について、自動車避難を想定している研究を示す。

情報拡散手段を用いた自動車避難について、渡辺ら [7] は、震災時の道路閉塞情報を複数の情報拡散手段を組み合わせることで、避難時間の短縮が可能であることを示した。具体的には、情報拡散手段として、人伝、ラジオ、Twitter (SNS)、無線通信 (v2v) を使用し、不通信エリアの有無や無線通信の同期時間の違いによる避難時間を計測している。結果として、単体で使用した場合には、不通信エリアがある場合、無線通信が有効であり、不通信エリアがない場合、Twitter が有効であることを確認している。複数組み合わせた場合には、単体で使用する場合よりも避難時間が短縮できるだけでなく、不通信エリアや無線通信の同期時間といった、災害時の状況への対応力向上についても言及している。また、Twitter 利用者割合を 4 割から 2 割に減少させた場合、単体では避難時間が増加するが、複数組み合わせることで、利用者割合への依存度が小さくなることを明らかにした。

津波遭遇リスクを想定した自動車避難について、奥村ら [8] は、津波の到達が早い地域を避け、安全な地域で渋滞を発生させることが、津波遭遇リスクが低下することに注目している。そして、総避難距離最小、総所要時間最小 (渋滞時間の最小化)、総津波遭遇リスク最小で比較を行うことで、最短距離の避難所に避難する場合よりも、渋滞による待ち時間の最小化や津波遭遇リスクを最小化した場合の方が安全に避難可能であることを明らかにした。さらに、避難車両数が多いほど、避難経路の安全性確保には、津波遭遇リスクを最小化が最も適していることを示した。

これらの研究から、情報拡散による避難支援に加え、津波遭遇リスクを考慮することで、

被災車両数を減少できると考え、昨年、津波遭遇リスクを考慮した場合の情報拡散手段の有効性について、被災車両数を用いて評価した [9]。この研究では、渡辺らの研究と同様に、情報拡散手段として、人伝、ラジオ、SNS、v2v の使用を想定してシミュレーションを行った。シミュレーションには、自動車制御と交通渋滞の再現を実現するために、交通シミュレータ SUMO を使用し、より震災時の状況に近い条件で結果を取得した。シミュレーションの結果、単体で使用する場合には、自車両への影響力の高い近隣の情報を、大量に拡散できる v2v が被災車両数を最小にすることを確認した。3 つ以上の情報拡散手段を組み合わせて使用した場合には、デマ情報を発信する SNS と他の情報拡散手段が組み合わさることで、デマ情報の拡散力が強くなったため、被災車両数の減少を確認できなかった。SNS を使用しない組み合わせでも、v2v 単体での被災車両数と大きな差は確認できなかった。

以上のように、様々な分野から災害時の避難行動支援に関する研究が行われているが、災害情報と情報拡散手段の親和性について評価している文献はない。そこで、本研究では、災害情報と情報拡散手段の種類による有効性を被災車両数を用いて評価する。また、情報拡散手段を単体で使用した場合と、3 つ以上の情報拡散手段を組み合わせて使用した場合に分けて結果を取得することで、各情報拡散手段の特徴を明らかにする。

第 3 章

災害情報モデル

本章では，災害情報として扱う道路閉塞，渋滞，津波遭遇リスクについて説明する．また，各災害情報における定義や制約条件について述べる．

3.1 道路閉塞

道路閉塞とは，建物の倒壊，液状化現象，寸断などの影響で通行できない道路である．

本モデルでは，道路閉塞箇所をシミュレーション実行前に指定し，シミュレーション中に新しく発生することは考慮しない．さらに道路閉塞箇所は，道路の終端に存在しているものと仮定する．また，道路閉塞箇所を選択される道路は，式 3.1, 式 3.2 を満たす道路からランダムに選択される．

$$i \notin T \tag{3.1}$$

$$C_i \geq X_i \tag{3.2}$$

式 3.1 は，道路 i が，避難所を選択された道路の集合 T の要素ではないことを示す．避難所が道路閉塞箇所として選択された場合，被災車両数に与える影響が大きく，結果の安定性が確保できない．そのため，道路閉塞箇所は避難所以外の道路から選択する．

式 3.2 は，道路 i の許容量 C_i が，出発する予定の車両数 X_i 以上であることを示す．道路の許容量が出発予定台数を下回る場合，道路閉塞の影響で車両が停止すると，出発予定の車両数が道路ネットワーク上に出現できない．SUMO では道路ネットワーク上に出現していない車両の制御は行えず，情報拡散や避難経路の再探索など，車両に対する処理が実現できない．また，全ての出発予定車両が出現するまで進行を続ける場合，出発予定台数が許容量

3.2 渋滞

を超えていると先頭車両が道路閉塞箇所を通過する可能性がある。以上のことから、出発予定台数を超える許容量を持つ道路から選択する。

許容量 C_i は、道路 i の長さ l_i に存在できる車両数であり、式 3.3 によって求める。SUMO では、道路ネットワーク上に出現する車両（乗用車）の大きさは、車間距離を含めて 7m から 8m であったため、車両 1 台が存在するための長さを 8m とする。

$$C_i = \frac{l_i}{8} \quad (3.3)$$

3.2 渋滞

渋滞の定義として、NEXCO 中日本/東日本/西日本は、時速 40km 以下で低速走行あるいは停止発進を繰り返す車列が 1km 以上かつ 15 分以上継続した状態としている [10]。しかし、災害時に信号の不点灯、道路閉塞、歩行者への警戒などにより、通常時とは大きく異なった状況が発生し、上記の渋滞の定義を適用することは困難である。そのため、本研究では渋滞の定義を、車両密度が 70 %以上の道路とする。道路 i を通行中の車両数 N_i とするとき、式 3.3 で求めた許容量を用いて、車両密度 D_i は次の式によって求める。

$$D_i = \frac{N_i}{C_i} * 100 \quad (3.4)$$

3.3 津波遭遇リスク

津波遭遇リスクとは、車両が避難行動中に津波に遭遇する可能性を示す。津波遭遇リスクを考慮しない場合、車両は最短距離の避難所を目指すため、津波遭遇リスクが高い沿岸部の避難所や、沿岸部を通行する避難経路を採用する可能性が高く、避難経路の安全性は確保されない。また、既に津波が到達しているエリアに進入する車両も発生するため、被災車両数が増加する。そのため、津波遭遇リスクを考慮することで、避難経路の安全性を確保する。

津波遭遇リスクの確認は、各道路に設定している津波到達時間と訪問道路までの総所要時間を比較する。総所要時間は、地震発生からの経過時間、訪問道路までの所要時間、3 分間の予備時間の合計とする。

第 4 章

情報拡散手段モデル

本章では、情報拡散手段について特徴とシミュレーション上でのモデルについて説明する。使用する情報拡散手段は、拡散情報の内容、拡散範囲、情報量、リアルタイム性などの違いから、人伝、ラジオ、SNS、v2v の 4 種類を対象にする。

4.1 人伝

人伝はジェスチャーや口頭での情報拡散を想定する。車両の搭乗者が拡散された情報を車両に記録することで、車両は避難所までの新しい経路を探索することができる。人伝による情報拡散の特徴として、一度に複数の情報を拡散することは困難であること、道路閉塞や渋滞を発見した地点から離れるほど正確性が低くなること、受信側は大量の情報を車両に正しく記録することが難しいことが挙げられる。

本モデルでは、人伝の特徴を考慮し、直接入手した最も新しい情報を対向車線上の車両に拡散する。そのため、拡散できる情報は、道路閉塞または渋滞の一方である。発見地点から距離に応じた正確性の低下を再現するため、拡散成功率を式 4.1 によって求める。式 4.1 は、伝達可能範囲 N 、発見地点から通過した道路数 M としたときの拡散成功率 P を示す。

$$P = \frac{N - M}{N} \quad (4.1)$$

図 4.1 を用いて、具体的なモデルを説明する。車両 A、車両 B、車両 C は問題箇所を発見している車両である。対向車 A、対向車 B、対向車 C は問題箇所を発見していない車両である。また、伝達可能範囲は $N = 4$ である。拡散成功率は、車両 A は、問題箇所から通過した道路数が $M = 0$ であるため、対向車 A への拡散成功率は、 $(4 - 0)/4 = 1$ となり、情

4.2 ラジオ

報拡散は確実に成功する。車両 B は、問題箇所から通過した道路数が $M = 1$ であるため、対向車 B への拡散成功率は、 $(4 - 1)/4 = 0.75$ となる。同様に車両 C から対向車 C への拡散成功率は $(4 - 2)/4 = 0.5$ となる。

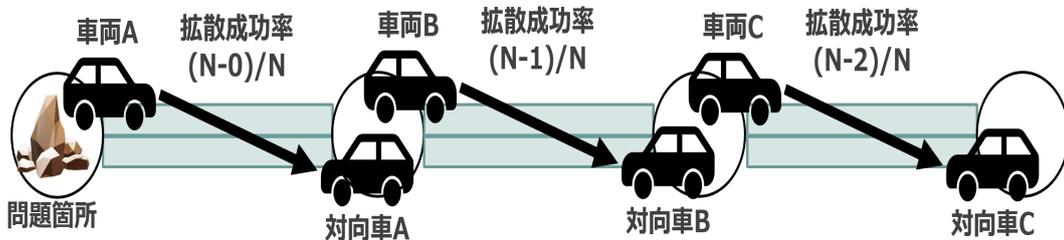


図 4.1 人伝モデル

4.2 ラジオ

ラジオは JARTIC（道路交通情報センター）が発信する民間放送やハイウェイラジオでの情報拡散を想定する。ラジオによる情報拡散の特徴は、信頼性の高さと拡散範囲の広さである。しかし、拡散できる情報の内容は幹線道路（高速道路、国道）の情報のみであるため、幹線道路以外での道路閉塞や渋滞に対応できない。また、JARTIC では情報の更新は 5 分毎であり、震災時の避難を想定すると、沿岸部では 20 分から 30 分で津波が到達するため、情報の拡散は 4 回から 6 回程度であり、リアルタイム性が低い。

本モデルでは、ラジオの扱う情報は、幹線道路のみであり、5 分間隔でシミュレータ上の全車両に情報を拡散する。図 4.2 では、幹線道路である道路 A で渋滞が発生しており、幹線道路ではない道路 B で道路閉塞が発生している。そのため、幹線道路である道路 A の情報が全車両に拡散される。

4.3 SNS

SNS は位置情報付きで投稿できるアプリケーションを想定する。特徴として、道路閉塞や渋滞を発見次第、情報拡散が可能であるため、リアルタイム性が高い。また、幹線道路以外

4.3 SNS



図 4.2 ラジオモデル

の情報も拡散できるため、多くの情報を拡散可能である。SNS の問題点として、インターネットへの接続、情報の混乱、デマ情報、利用率の低さが挙げられる。情報の混乱については、位置情報付きの情報のみを使用することで、膨大な情報の中から、被災地の災害情報を取得することができる。しかし、SNS の位置情報は偽装可能であるため、デマ情報が投稿される可能性が存在する。利用率については、SNS 利用者割合が低いほど、避難行動時のボトルネックとなる車両が増加する。

本モデルでは、前提としてインターネットへの接続は保証されているものとする。SNS 利用者割合はパラメータとして設定し、SNS 利用者を選択された車両間でのみ、全道路情報の共有を行う。SNS 利用者は道路閉塞または渋滞を発見した場合と、v2v による情報共有時に、SNS による情報拡散を行う。また、SNS 利用者はデマ情報の拡散と共有を行い、デマ情報の解消は考慮しない。

図 4.3 では、道路 A、道路 B、道路 C には、SNS 利用者である車両 A、車両 C、車両 D が存在する。道路 B では渋滞、道路 C では道路閉塞が発生している。また、車両 A と車両 B は道路 B を通行予定である。SNS 利用者は道路閉塞または渋滞を発見時に情報を拡散するため、渋滞を発見した車両 C と、道路閉塞を発見した車両 D が情報を拡散する。そのため、車両 A は道路 B と道路 C を避けた避難経路を探索する。車両 B は SNS 利用者ではないため、道路 B の情報を取得できない。よって、進行方向の道路状況が分からず経路変更が

4.4 v2v

発生しない。本研究では、拡散された情報を取得できず、他の車両の通行を妨げる車両を、ボトルネック車両と呼ぶ。

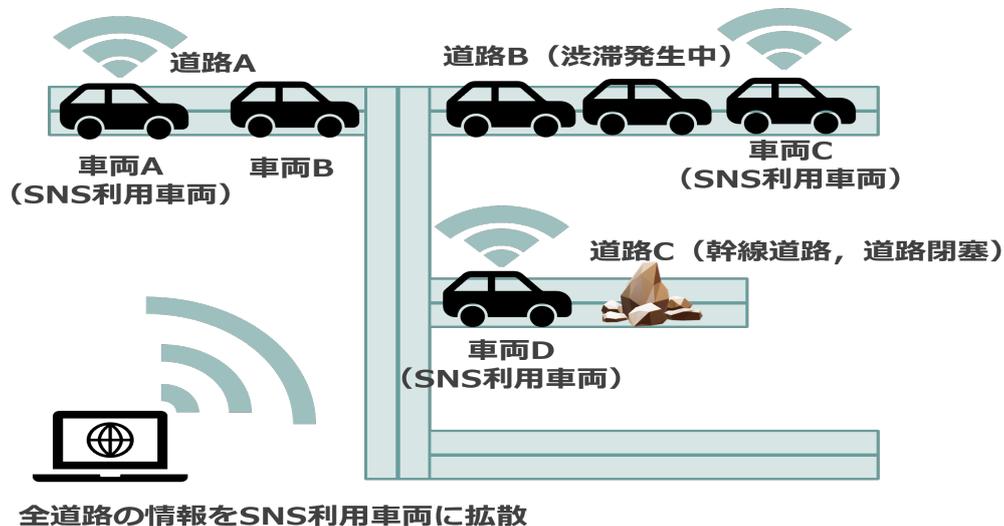


図 4.3 SNS モデル

4.4 v2v

v2v は無線機器を搭載した車両間での通信を想定する。v2v の特徴として、車両が保持している情報を大量に送受信することができる。さらに、インターネットに接続する必要がないため、通信インフラへの依存度が低く、災害時でも安定した利用が見込める。v2v の問題点として、避難開始時間による同期時間のズレにより、ボトルネック車両が大量に発生する可能性がある。また、無線通信機器の通信範囲は限られているため、周辺の情報しか取得できない。

本モデルでは、車両は出発時間から一定間隔毎に通信範囲内の同期時間が重なった車両と情報を共有する。情報共有は車両間の距離が近い順に行われる。このとき、人伝で取得した情報は拡散しない。v2v の通信速度については、非常に高速であると仮定し、シミュレーションを行う。

図 4.4 の v2v モデルには、同期時間が同じ、車両 A、車両 B、車両 D と、同期時間が異

4.4 v2v

なる車両 C が存在する。通信可能範囲を 70m 以内としたときの、データの更新例を表 4.1 に示す。車両は距離が近い車両から共有するため、車両 A が保持しているデータ A と車両 B が保持しているデータ B を共有する。次に、車両 B と車両 D がデータを共有する。車両 B は、最初の情報共有によりデータ A を保持しているため、データ A とデータ B を、車両 D はデータ D を共有する。車両 C は同期時間が異なるため、データは共有されないまた、車両 A と車両 D は通信可能範囲を超えているため、データの共有は発生しない。

車両 A と車両 B の詳細なデータ共有について、表 4.2, 表 4.3, 表 4.4 を用いて説明する。車両が保持するデータには、道路 ID, 道路情報, 更新時間が記録されている。同期は、シミュレーション開始から 60 秒後に行われたと想定する。データの共有時、各道路 ID 毎に道路情報を比較し、異なっている場合、更新時間が新しいデータに合わせて更新される。更新時間は同期時間に従って更新される。そのため、表 4.2 では、道路 A が渋滞しているおり、表 4.3 では、渋滞が解消している。更新時間を比較した場合、渋滞解消の情報が新しいため、表 4.3 の道路情報に統一される。同様に、車両 A は道路 C での道路閉塞を車両 B に共有することで、車両 A と車両 B は表 4.4 のデータを保持する。

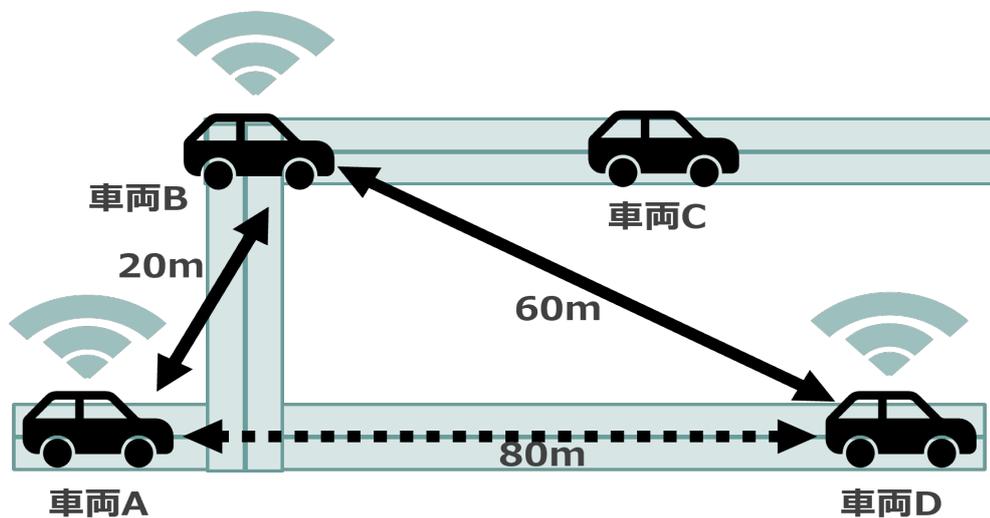


図 4.4 v2v モデル

4.4 v2v

表 4.1 v2v モデルのデータ更新例

車両	順番 (通信車両)	共有前	共有後
車両 A	1(車両 B)	<i>dataA</i>	<i>dataA, dataB</i>
車両 B	1(車両 A),2(車両 D)	<i>dataB</i>	<i>dataB, dataA, dataD</i>
車両 C		<i>dataC</i>	
車両 D	2(車両 B)	<i>dataD</i>	<i>dataD, dataA, dataB</i>

表 4.2 車両 A の保持データ

道路 ID	道路情報	更新時間 (秒)
道路 A	渋滞	20
道路 B	なし	0
道路 C	道路閉塞	10

表 4.3 車両 B の保持データ

道路 ID	道路情報	更新時間 (秒)
道路 A	渋滞解消	40
道路 B	なし	0
道路 C	なし	0

表 4.4 車両 A と車両 B の共有後データ

道路 ID	道路情報	更新時間 (秒)
道路 A	渋滞解消	60
道路 B	なし	0
道路 C	道路閉塞	60

第 5 章

シミュレーションモデル

本章では、道路ネットワークモデル、津波到達モデル、車両モデル、再経路探索モデル、津波を考慮した経路探索モデルについてシミュレーション上でのモデル化を説明する。

5.1 道路ネットワークモデル

本研究では、南海トラフ巨大地震による被災が考えられ、津波の到達時間が早い高知県香南市の沿岸部の地域を対象にする。避難所と津波到達時間は、図 5.1 のハザードマップに従って設定する [11]。避難所は、津波避難所、津波避難ビル、津波避難タワー、一時避難場所に指定されている場所とする。また、津波到達時間が 20 分から 30 分の地域を沿岸部、津波到達時間が 30 分から 40 分の地域を内陸部と呼ぶ。津波到達時間の設定は、津波が到達するまでの最短時間とする。

道路ネットワークモデルに使用する地図データは、OpenStreetMap から取得した地図 (図 5.2) を、SUMO で扱える地図 (図 5.3) に変換したものを使用する。そのため、OpenStreetMap の更新状況に依存しており、実際の道路とは異なった箇所が存在している。

SUMO では道路ネットワークはエッジのみで構成されるため、一般的なグラフ理論の形式とは異なる。そのため、各エッジが持つ情報を、重みと重み以外の情報に分け、図 5.1 のように、重み以外の情報を持ったエッジをノードとして定義する。作成したノード A とノード B は、重みの情報を持ったエッジ B によって接続する。

エッジの重みは、道路を最高速度で通過する場合に所要時間 (秒) とする。最高速度は、東日本大震災時の平均速度に従い、 $9\text{km/h}(2.5\text{m/s})$ とする [4]。従って、エッジの所要時間

5.1 道路ネットワークモデル

s_i は、道路 i の長さ l_i としたとき、次の式で求められる。

$$s_i = \frac{l_i}{2.5} \quad (5.1)$$

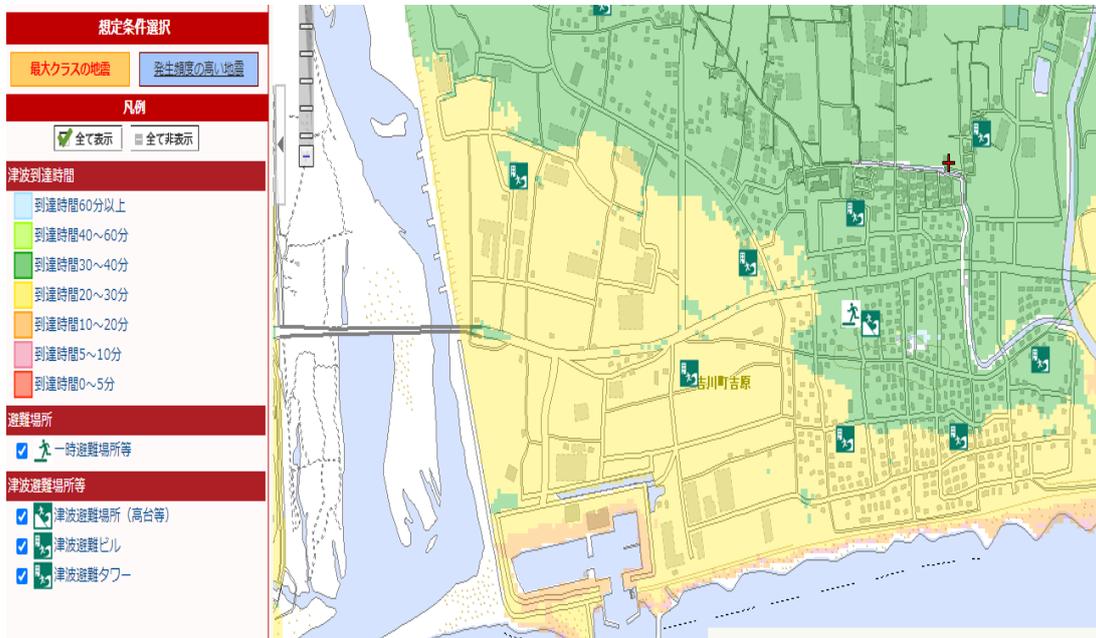


図 5.1 高知県香南市のハザードマップ

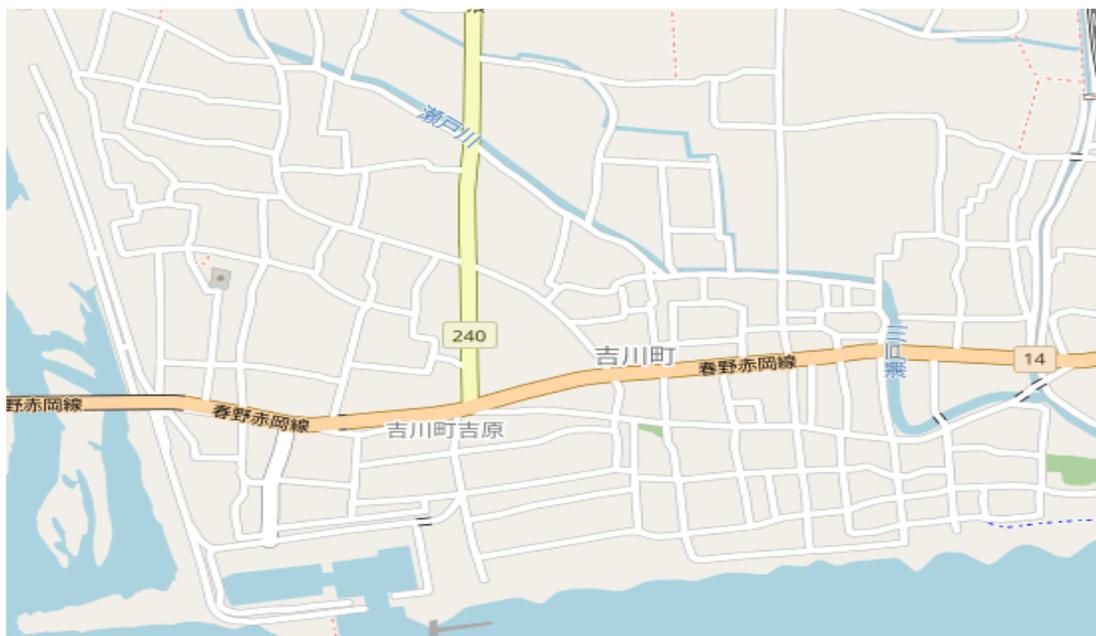


図 5.2 OpenStreetMap 上での高知県香南市の地図 (2023 年)

5.2 津波到達モデル



図 5.3 SUMO 上での高知県香南市の地図

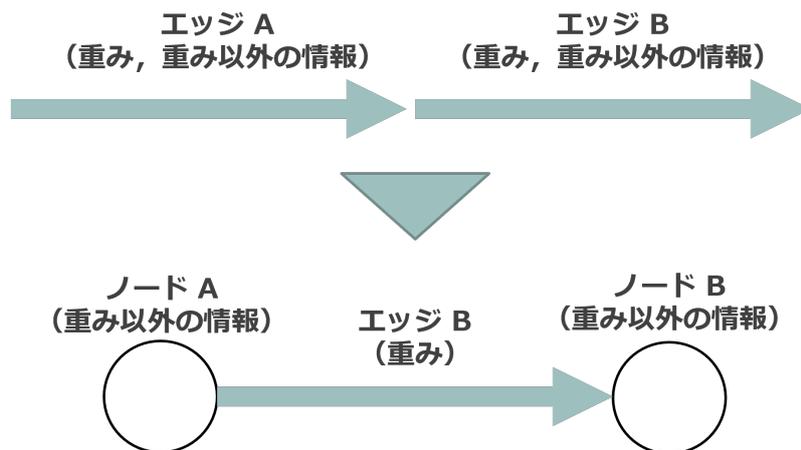


図 5.4 一般的なグラフへの変換

5.2 津波到達モデル

高知県香南市の地域が被災する最短時間は、図 5.1 より、沿岸部で 20 分 (1200 秒)、内陸部で 30 分 (1800 秒) である。SUMO では、シミュレーション上の 1 ステップは現実の 1 秒に対応しているため、1200 ステップと 1800 ステップに津波が到達する。1200 ステップでは、沿岸部を通行する全ての車両を沿岸部での被災車両数として数える、シミュレーション上から削除する。以降、沿岸部に進入した車両も沿岸部での被災車両数として数え、シ

5.3 車両モデル

シミュレーション上から削除する。1800 ステップでは、全地域に津波が到達するため、避難が完了していない車両を全て内陸部での被災車両数として数え、シミュレーション上から削除する。ただし、道路閉塞などの影響で停止している車両が被災した場合には、被災地域を考慮せず、その他の要因として被災車両数を数える。

5.3 車両モデル

全ての車両は、情報拡散手段を用いて道路閉塞または渋滞情報を拡散できる。また、拡散された情報の取得、取得した情報を用いた経路探索も可能である。車両は全て乗用車であり、詳細な制御は SUMO のデフォルトに従う [12]。

車両の初期情報として、道路ネットワークのデータと避難所までの最短経路を所持している。道路ネットワークのデータには、各ノード毎に道路閉塞または渋滞情報を記録する。また、記録したステップ数の管理も車両毎に行う。避難経路情報は、再経路探索により避難経路が新しくなる場合に上書きされる。

車両の初期配置は、道路ネットワーク上の全ノードに同数配置する。シミュレーション開始後、各ノードに配置された車両は先頭車両から順にシミュレーション上に出現し、避難を行う。そのため、車両の出発時間は、シミュレーション上に出現したステップ数とする。

車両が道路閉塞に遭遇し、U ターン不可能であると判断した場合、車両は出発予定車両が全て出現するまで進行を続ける。ただし、出発予定車両が全て出現した場合、または先頭車両が道路閉塞箇所指定されたノードを通過する場合、停止する。停止車両は津波に遭遇するまで、情報拡散を続ける。

5.4 再経路探索モデル

経路探索にはダイクストラ法を使用しており、再経路探索は、車両が避難経路として通過するノードに道路閉塞、渋滞の発生、渋滞の解消が記録された場合に発生する。また、車両は一定間隔で避難経路の津波遭遇リスクの確認を行い、津波遭遇リスクが確認された場合に

5.5 津波を考慮した経路探索モデル

も再経路探索は発生する。

車両の再経路探索は、道路閉塞遭遇時とその他の要因で異なる。道路閉塞遭遇時、Uターン可能である場合、車両はUターンを前提として、再経路探索を実行する。Uターン不可能である場合、再経路探索は実行されない。その他の要因として、渋滞遭遇時には、Uターンを考慮せず、車両の現在位置ノードから再経路探索を実行する。また、情報拡散手段による記録、津波遭遇リスクが確認された場合にも、渋滞遭遇時と同じ再経路探索が適用される。

再経路探索実行時、渋滞が記録されたノードは通行する可能性があるが、道路閉塞と津波遭遇リスクが存在するノードを通行する可能性はない。そのため、通行できないノードの存在により、避難所までの経路が探索できない車両が発生する。このような、避難経路失敗車両は、避難経路の変更は発生せず、停止することもない。

5.5 津波を考慮した経路探索モデル

津波遭遇リスクを考慮した経路探索モデルについて説明する。以下に経路探索モデルの処理手順を示す。

1. ダイクストラ法による経路探索を実行
2. ノード訪問時、訪問ノードまでの総所要時間を計算
3. 訪問ノードに設定されている津波到達時間と総所要時間を比較
4. 総所要時間を津波到達時間が超える場合、津波に遭遇すると判断
5. 津波に遭遇する場合、一時的に訪問ノードまでの重みを加増

図 5.5 を用いて、具体的な処理を説明する。エッジにはエッジ ID と重み (分)、ノードにはノード ID、避難所情報、津波到達時間を記載している。地震発生から 10 分経過している仮定した場合の、ノード A 上の車両の経路を確認する。避難所 A までの経路では、ノード B までの所要時間は 3 分、経過時間 10 分、避難予備時間 3 分であるため、総所要時間は 16 分となる。ノード B に設定されている津波到達時間は 20 分であるため、所要時間は加増されない。ノード C までの所要時間は 8 分であるため、総所要時間は 24 分となり、ノード C

5.5 津波を考慮した経路探索モデル

の津波到達時間を超過している．そのため，エッジ B の所要時間を加増することで，避難所 A までの避難経路の採用を防ぐ．次に避難所 B までの経路を確認すると，総所要時間は，ノード D で 21 分，ノード E で 26 分，ノード F で 29 分となり，全てのノードで津波到達時間を下回っている．従って，避難所 B まで安全に通行できることが確認できるため，ノード A に存在する車両は避難所 B を目的地として進行する．

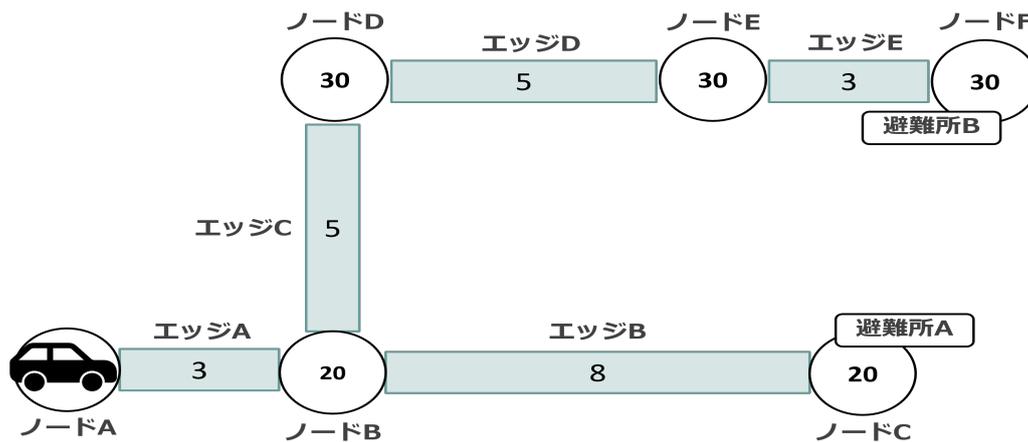


図 5.5 災害情報を考慮した道路ネットワークモデル例

第 6 章

評価

6.1 実験環境

本研究では、Ubuntu 22.04.3 LTS 上に SUMO の環境を構築し、python3 を用いてシミュレータを作成している。SUMO のバージョンは Eclipse SUMO sumo Version 1.16.0 を使用する。実験環境の詳細を表 6.1 に示す。

表 6.1 実験環境

項目	実験環境情報
product	Intel(R) Xeon(R) E-2336 CPU @ 2.90GHz
vendor	Intel Corp.
physical id	1
bus info	cpu@0
version	6.167.1
size	1100MHz
capacity	4800MHz
width	64 bits
configuration	microcode=87

6.2 評価項目

本研究では、災害情報の種類による情報拡散手段の有効性を確認するため、災害情報の考慮を以下のパターンに分け、被災車両数の割合を評価する。

- (a) 道路閉塞のみを考慮
- (b) 道路閉塞と渋滞を考慮
- (c) 道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮
- (d) 道路閉塞、渋滞、津波遭遇リスクを考慮

加えて、情報拡散手段を単体で使用した場合と、3種類以上組み合わせた場合の被災車両数の割合を評価する。SNS利用者割合は、全ての項目で全車両の20%が利用した場合と、40%が利用した場合について結果を取得する。また、道路閉塞箇所の影響による違いを確認するため、道路閉塞箇所とSNS利用者に選択される車両を変更してシミュレーションを5回実行した結果を取得し、評価する。道路閉塞箇所のパターンは付録Aに記載する。

被災車両は、避難行動中に津波に遭遇した車両とし、沿岸部での被災車両数、内陸部での被災車両数、その他の要因での被災車両数を取得する。被災車両数割合は、避難車両数に対する被災車両数の割合を示す。シミュレーションで使用したパラメータを表6.2に示す。

6.2 評価項目

表 6.2 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
道路ネットワークの構成エッジ数	644 エッジ
幹線道路数	56 箇所
避難所	14 箇所
各道路の最高速度	9km/h
避難車両数	1929 台 (1 ノードあたり 3 台)
道路閉塞箇所 (幹線道路)	5 個
道路閉塞箇所 (幹線道路以外)	15 個
道路閉塞箇所 (デマ情報)	5 個
渋滞判定密度	70%
津波到達時間 (沿岸部)	1200 秒
津波到達時間 (内陸部)	1800 秒
津波遭遇リスク確認間隔	60 秒
津波遭遇リスク予備時間	180 秒
人伝による情報拡散範囲	発見地点から 4 ノード
ラジオ拡散間隔	300 秒
v2v 同期間隔	60 秒
v2v 通信距離	70m

6.3 結果と考察

5回取得したデータを、情報拡散手段を単体で使用した場合と複数組み合わせた場合に分け、災害情報の考慮パターン毎に記載する。情報拡散手段を単体で使用した場合のデータをデータ Ax, データ Bx, データ Cx, データ Dx, データ Ex とする。複数組み合わせで使用した場合のデータをデータ Ay, データ By, データ Cy, データ Dy, データ Ey とする。

情報拡散手段なしと比較した場合の被災車両数割合の増減を確認し、情報拡散手段の有効性について考察する。また、考慮する災害情報による被災車両数割合を考察する。加えて、複数組み合わせた場合の情報拡散手段の有効性を4種類を組み合わせた場合と、3種類を組み合わせた場合の差から確認する。

6.3.1 情報拡散手段を単体で使用した場合

(a) 道路閉塞のみを考慮

図 6.1 から 6.5 に道路閉塞のみを考慮した場合の結果を示す。各データから、道路閉塞箇所の発生場所によって有効な情報拡散手段が異なる。図 6.1 ではラジオ以外での有効性が確認できる。図 6.2 では、情報拡散手段による差が小さい。図 6.3 は SNS の有効性が高く、図 6.4 は人伝と v2v での有効性が高い。図 6.5 ではラジオでの有効性が高く、人伝による有効性が確認できない。

ラジオの特徴は、幹線道路の道路閉塞箇所数は同じ場合、幹線道路閉塞箇所の交通量が多いほど、有効であることが明らかである。そのため、図 6.5 では、交通量の多い幹線道路が道路閉塞箇所として選択されている可能性が高い。

人伝の特徴として、経路変更後に遭遇する道路閉塞が多いほど、有効性が下がる。有効性が確認できた図 6.1, 6.4 では、道路閉塞箇所に複数回遭遇する車両が少なかったと考えられる。図 6.5 で有効性が確認できない理由として、幹線道路閉塞箇所を通行する際の情報拡散力が低下していると考えられる。ラジオの有効性が高いことから、交通量の多い幹線道路が道路閉塞となったことがわかる。幹線道路では交差点までの距離が長く、道路閉塞箇所の発

6.3 結果と考察

見から拡散までの所要時間が大きいと、道路閉塞箇所進入前の車両に対して情報の拡散ができない。そのため、人伝では距離の長い幹線道路のような道路閉塞に遭遇する場合、有効性が低くなると考えられる。

図 6.3 では、SNS の有効性が高く、利用者割合が多いほど有効性が向上する。SNS ではデマ情報が拡散されるため、通行予定車両の多い道路がデマ情報として選択されると有効性が低くなる。しかし、全データで有効性の低下が確認できないため、デマ情報を信じる車両が全体の 40%であれば、デマ情報の影響は小さい。

v2v は、遭遇しやすい近隣の道路閉塞情報を多く共有できるため、経路変更後に道路閉塞に遭遇する車両が少なく、有効性が高くなりやすい。有効性が確認できない場合、道路閉塞箇所の位置が離れており、拡散範囲の小さい v2v では有効性が低い。また、同期時間のズレによって発生するボトルネック車両が他車両の通行を妨げる場合にも、有効性が低下すると考えられる。

図 6.2 のように情報拡散手段による有効性の差が小さい原因として、道路閉塞箇所の数が少なかったと考えられる。そのため、道路閉塞箇所が多い場合と少ない場合に分けて、情報拡散手段の有効性を確認することで、新しい特徴を発見できると考える。

6.3 結果と考察

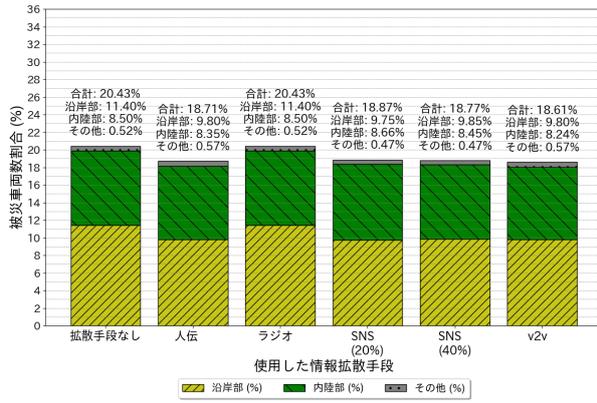


図 6.1 データ Ax (道路閉塞のみ考慮)

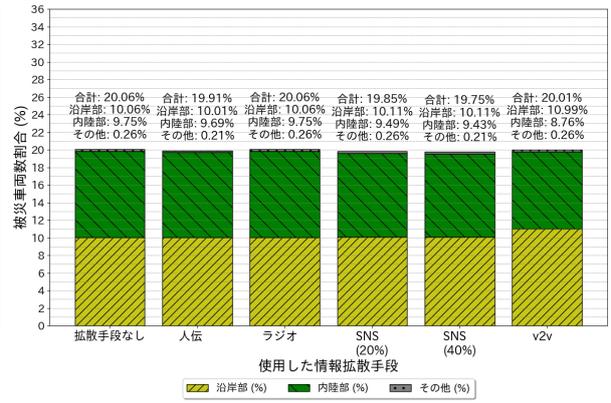


図 6.2 データ Bx (道路閉塞のみ考慮)

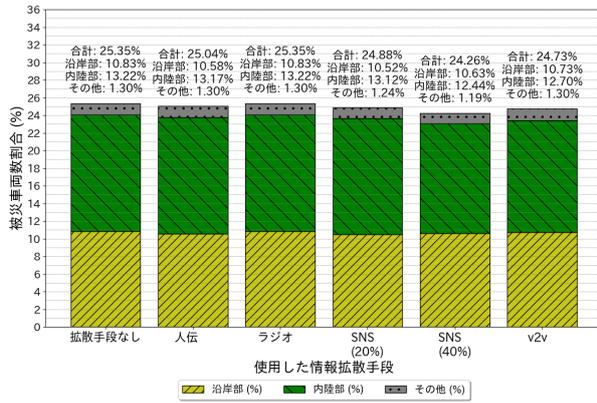


図 6.3 データ Cx (道路閉塞のみ考慮)

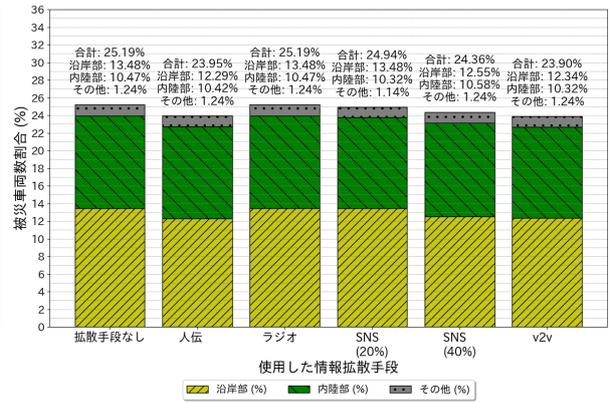


図 6.4 データ Dx (道路閉塞のみ考慮)

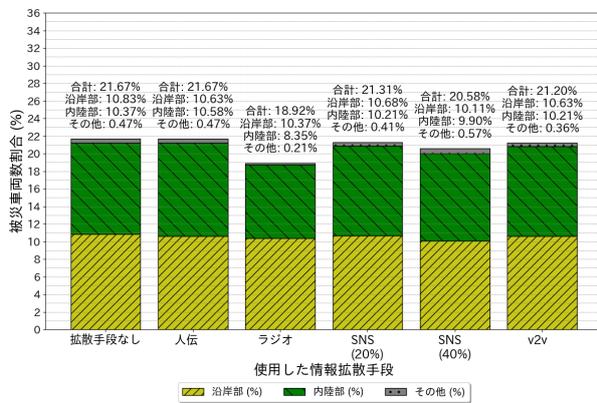


図 6.5 データ Ex (道路閉塞のみ考慮)

6.3 結果と考察

(b) 道路閉塞と渋滞を考慮

図 6.6 から 6.10 に道路閉塞と渋滞を考慮した場合の結果を示す。各データから、道路閉塞のみを考慮した場合に比べ、人伝と v2v で有効性が極端に低くなる。SNS とラジオは有効性が高くなりやすいが、有効性が確認できない場合がある

人伝と v2v で有効性が極端に低下した理由として、情報拡散範囲が狭く遠方の情報を取得できなかったため、経路変更後の渋滞遭遇率が高いと考えられる。また、渋滞解消情報の取得も難しく、渋滞情報のみが蓄積されるため、長距離の迂回を強いられる車両や津波遭遇リスクの高い経路に進入する車両が増加し、沿岸部での被災車両数が増加した。特に v2v では渋滞発生箇所の周辺車両が集団で経路変更を行う可能性が高く、別の場所での渋滞が発生しやすいため、渋滞情報が大量に蓄積される。加えて、経路変更が頻繁に発生することで、ボトルネック車両との遭遇率が高くなることで、被災車両数が増加したと考えられる。

ラジオでは、交通量が多い幹線道路の情報が拡散される。幹線道路で渋滞が発生した場合には、交通量の少ない道路に分散される。また、拡散間隔の 5 分以内に渋滞が解消する可能性が高く、渋滞解消情報も拡散されるため、渋滞情報の蓄積は発生せず、渋滞が解消した幹線道路を通行できる。そのため、ラジオでは車両が分散しやすく、交通流が向上したことで有効性が高くなったと考えられる。

SNS は、広域の渋滞情報を拡散できるため、経路変更後に渋滞に遭遇する可能性は低い。また、渋滞解消情報の拡散と取得も発生しやすい SNS の有効性が低下する原因として、デマ情報とボトルネック車両の影響が考えられる。渋滞を考慮することで、経路変更が頻繁に発生し、多くの道路の通行を想定する必要がある。そのため、デマ情報により通行できない道路が存在すると、SNS 利用者は無駄な迂回を強いられる。また、ボトルネック車両の遭遇率も高くなるため、有効性が低下する。図 6.8, 6.9 のように、SNS による有効性が大きいものは、デマ情報の影響力が小さく、ボトルネック車両との遭遇が少なかったからである。従って、SNS は利用者割合が多くなると、有効性が向上し、渋滞の緩和はデマ情報よりも影響が大きい。しかし、状況によって有効性を発揮できない場合も存在する。

6.3 結果と考察

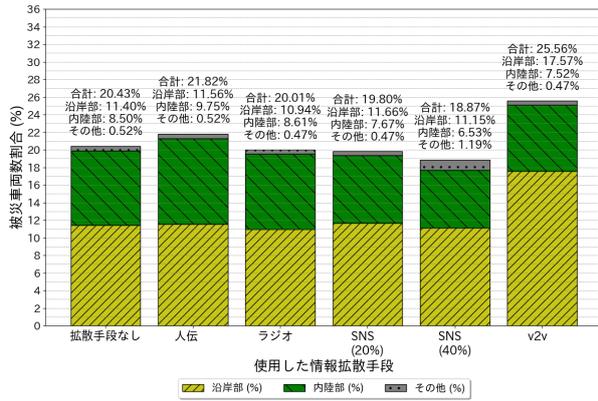


図 6.6 データ Ax (道路閉塞と渋滞を考慮)

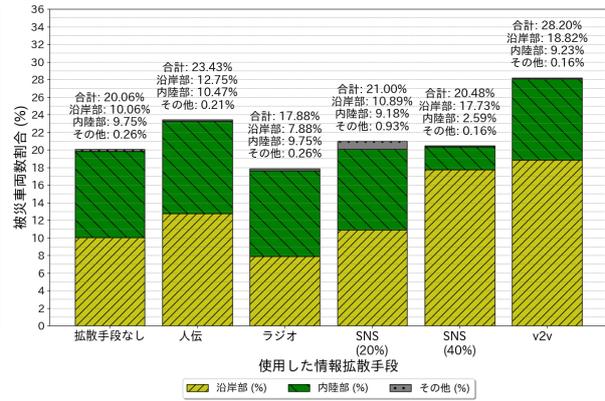


図 6.7 データ Bx (道路閉塞と渋滞を考慮)

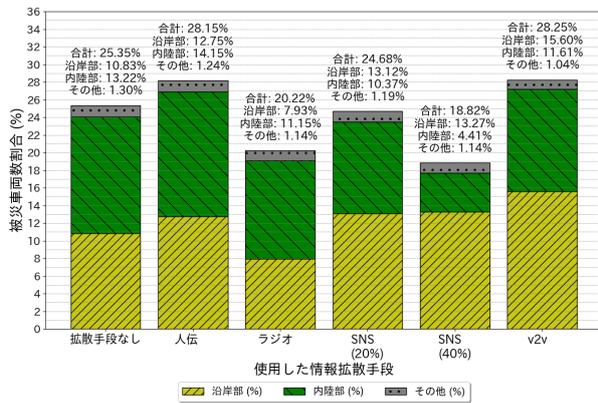


図 6.8 データ Cx (道路閉塞と渋滞を考慮)

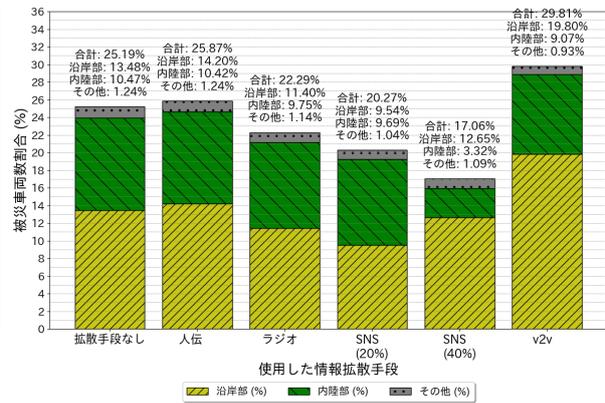


図 6.9 データ Dx (道路閉塞と渋滞を考慮)

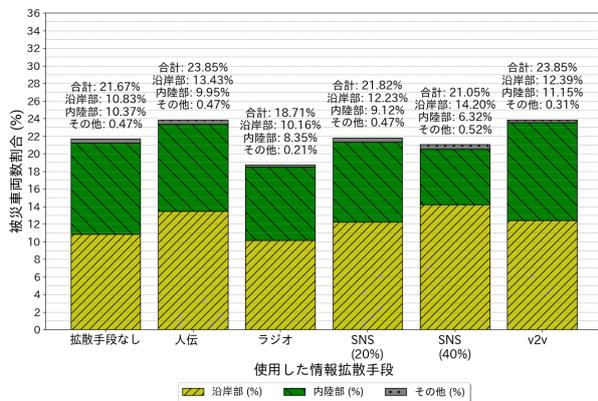


図 6.10 データ Ex (道路閉塞と渋滞を考慮)

6.3 結果と考察

(c) 道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮

図 6.11 から 6.15 に道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮した場合の結果を示す。各データから、道路閉塞のみを考慮した場合よりも、沿岸部での被災車両数割合は減少しているが、内陸部とその他の被災車両数割合は増加している。被災車両数割合の合計では、情報拡散力の強い情報拡散手段ほど、有効性が向上している。

内陸部の被災車両数が増加した理由は、沿岸部への避難車両が減少したため、内陸部での交通量が増加し、深刻な渋滞が発生したからだと考えられる。また、その他の被災車両数が増加した理由は、津波遭遇リスクによる経路変更により、Uターンできない道路閉塞箇所へ進入する車両が増加したからである。特に情報拡散力が弱い情報拡散手段では、Uターンできない道路閉塞箇所の情報を十分に拡散できなかったため、有効性の向上がみられなかった。

津波遭遇リスクを考慮することで道路閉塞のみを考慮した場合に沿岸部での被災車両数が多い情報拡散手段ほど有効性が確認できる。そのため、沿岸部に避難所が集中している場合、沿岸部で渋滞が発生しやすいため、津波遭遇リスクを考慮することで、被災車両数を減少できると考えられる。

道路閉塞のみを考慮した場合と比べ、有効性が大きく向上しなかった理由として、対象にした高知県香南市の避難所の配置が影響している。対象地域の避難所は内陸部に多く配置されており、沿岸部に設置された避難所も内陸部付近であるため、沿岸部を通行する避難車両が少ない。そのため、避難所が内陸部に多い場合には、効果が薄いことがわかる。

6.3 結果と考察

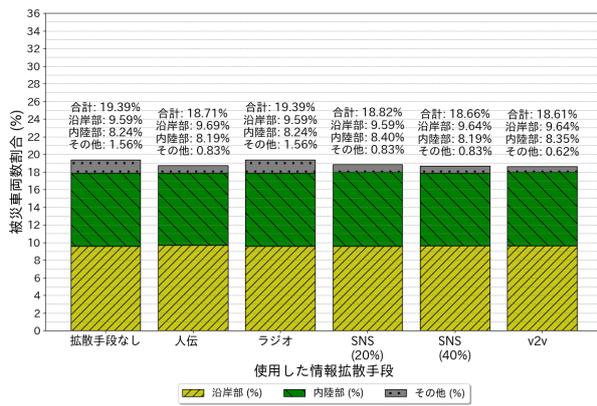


図 6.11 データ Ax (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

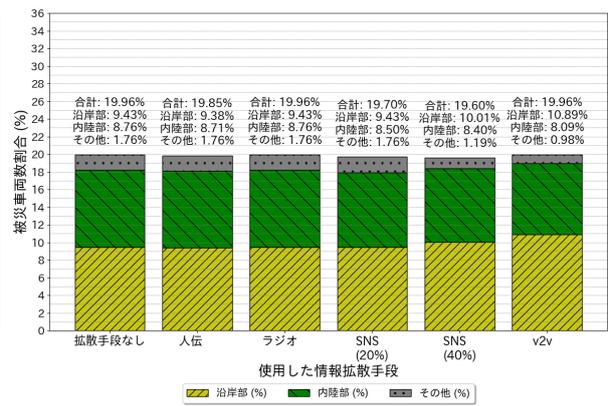


図 6.12 データ Bx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

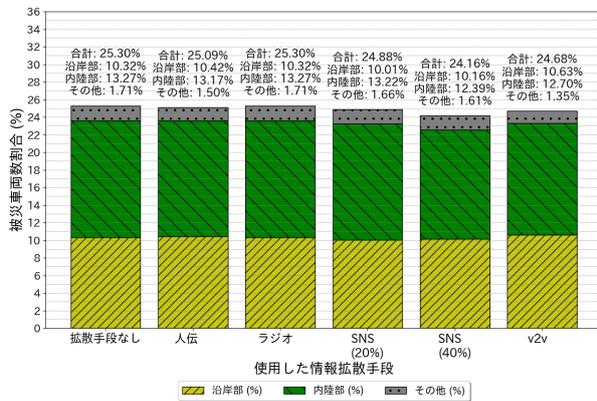


図 6.13 データ Cx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

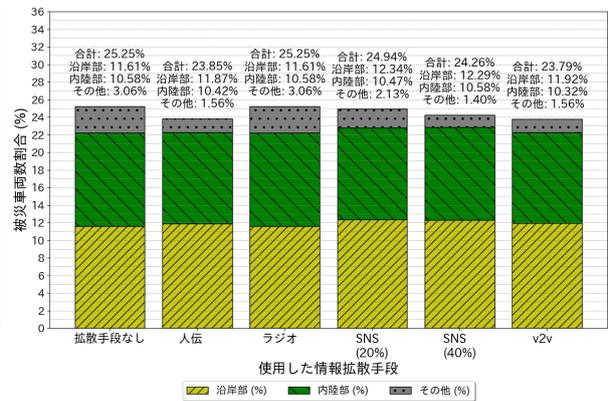


図 6.14 データ Dx (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

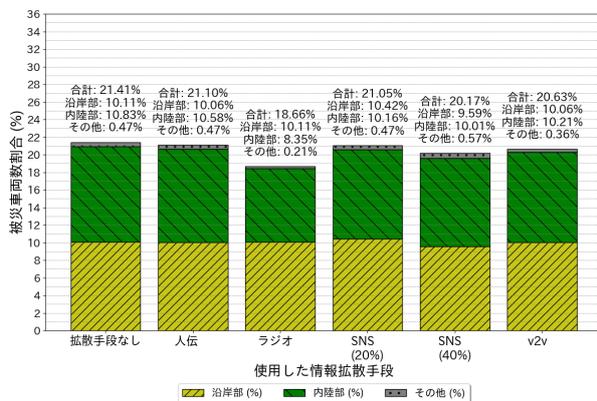


図 6.15 データ Ex (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

(d) 道路閉塞，渋滞，津波遭遇リスクを考慮

図 6.16 から 6.20 に道路閉塞，渋滞，津波遭遇リスクを考慮した場合の結果を示す。各データから，災害情報を全て考慮した場合には，道路閉塞と渋滞を考慮した場合よりも，沿岸部での被災車両数割合が大きく減少している。しかし，内陸部やその他の被災車両数割合が増加することで，有効性が下がる情報拡散手段も存在する。

災害情報を全て考慮した場合の特徴として，渋滞，津波遭遇リスク，道路閉塞の順で影響が大きいことが確認できる。そのため，道路閉塞と渋滞を考慮した場合と各情報拡散手段の有効性の特徴が類似している。同様に，津波遭遇リスクを考慮した場合に有効性の低い，拡散力が弱い情報拡散手段では，U ターンできない道路閉塞箇所に進入する車両が増加する。加えて，津波遭遇リスクの考慮により，内陸部での渋滞が発生しやすいため，渋滞の特徴が現れやすいと考えられる。

SNS の有効性に差が大きい原因として，デマ情報の影響力とボトルネック車両との遭遇率が考えられる。図 6.16 の SNS 利用者 40%では，沿岸部から内陸部に避難する車両の交通量が多い道路がデマ情報として選択されたと考えられる。また，津波遭遇リスクの考慮により，沿岸部から内陸部に移動する車両が増加するため，渋滞が多発し，経路探索が頻繁に発生する。そのため，デマ情報の影響力が強くなり，ボトルネック車両との遭遇率も高くなる。従って，道路閉塞のみを考慮した場合に，影響力が小さいデマ情報でも渋滞や津波遭遇リスクを考慮した場合には，影響力が大きくなる。

渋滞や津波遭遇リスクを考慮による問題点として，経路探索が頻繁に起こり，SNS や v2v ではボトルネック車両との遭遇率が高くなる。また，ラジオや人伝では，拡散できる情報が少なく，交通効率を向上させることが難しい。そのため，単体での情報拡散には限界があり，考慮する災害情報が多いほど，交通の混乱が発生しやすいと考えられる。

6.3 結果と考察

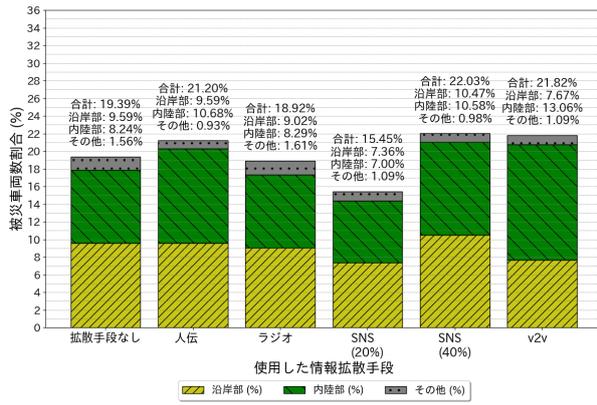


図 6.16 データ Ax (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

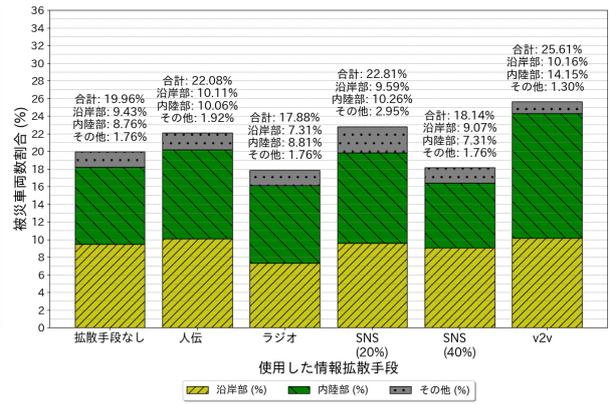


図 6.17 データ Bx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

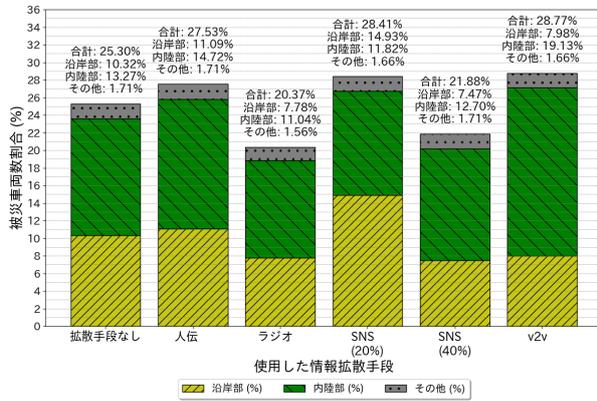


図 6.18 データ Cx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

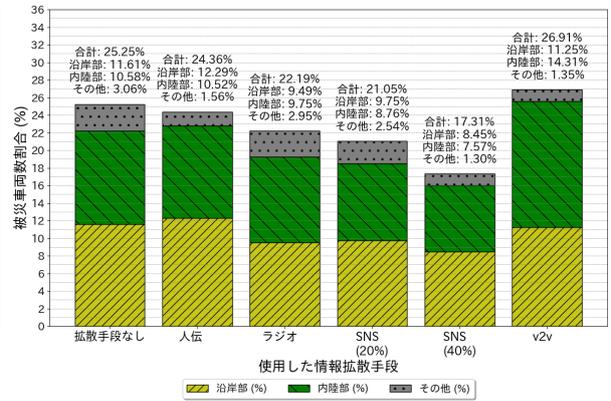


図 6.19 データ Dx (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

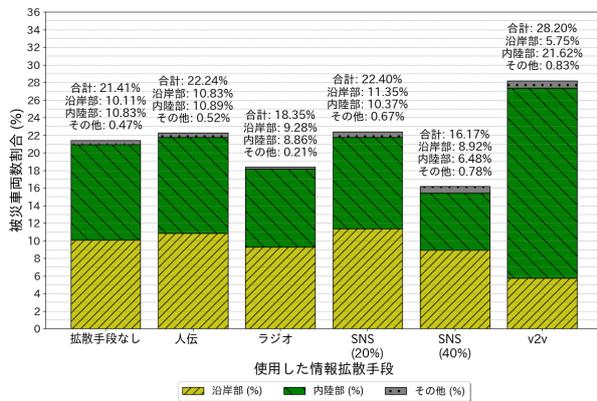


図 6.20 データ Ex (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

6.3.2 情報拡散手段を複数組み合わせで使用した場合

(a) 道路閉塞のみを考慮

図 6.21 から 6.25 に道路閉塞のみを考慮した場合の結果を示す。各データから、複数の情報拡散手段を組み合わせることで、単体での使用より、全ての組み合わせで有効性が確認できる。また、単体での使用と同様に道路閉塞箇所への依存も確認できる。

人伝は組み合わせることで、有効性が低下する可能性がある。SNS と組み合わせた場合には、SNS 利用車両が道路閉塞を発見する前に人伝によって経路変更を行うため、道路閉塞情報の拡散力が下がるからである。v2v と組み合わせた場合には、人伝により情報が拡散されることで、一部の車両が v2v の同期時間より早く経路変更を行うことで、道路ネットワーク上の車両の位置関係が変化したからだと考えられる。そのため、人伝を組み合わせる場合には、SNS 利用者との連携や、v2v の同期時間を考慮しなければ、効果的な避難行動は実現できない。

ラジオは道路閉塞のみ考慮した場合の単体使用で、図 6.5 以外で効果がない。同様に図 6.25 以外での有効性は確認できない。しかし、車両が事前に道路情報を取得することで、幹線道路を通行する可能性があり、組み合わせによる有効性の向上は考えられる。また、ラジオは単体使用での結果から交通に大きな混乱を与えないため、組み合わせによる有効性の低下は小さいと考えられる。

SNS の特徴として、組み合わせることで有効性は向上するが、情報の拡散力が強くなり、デマ情報の影響を受けやすくなる。そのため、SNS 利用者割合 20% に比べ利用者割合 40% の被災車両数の増加する可能性がある。従って、デマ情報の拡散力を考慮して組み合わせなければ、被災車両数は増加する。

v2v は拡散力が強く、SNS と組み合わせる場合には、デマ情報を大きく拡散するため、有効性が低下する可能性は高い。しかし、組み合わせることで、大量の情報を拡散でき、ボトルネック車両も減少する。結果から被災車両数が減少しやすい傾向にあるため、デマ情報の影響力よりボトルネック車両の減少が効果的だとわかる。

6.3 結果と考察

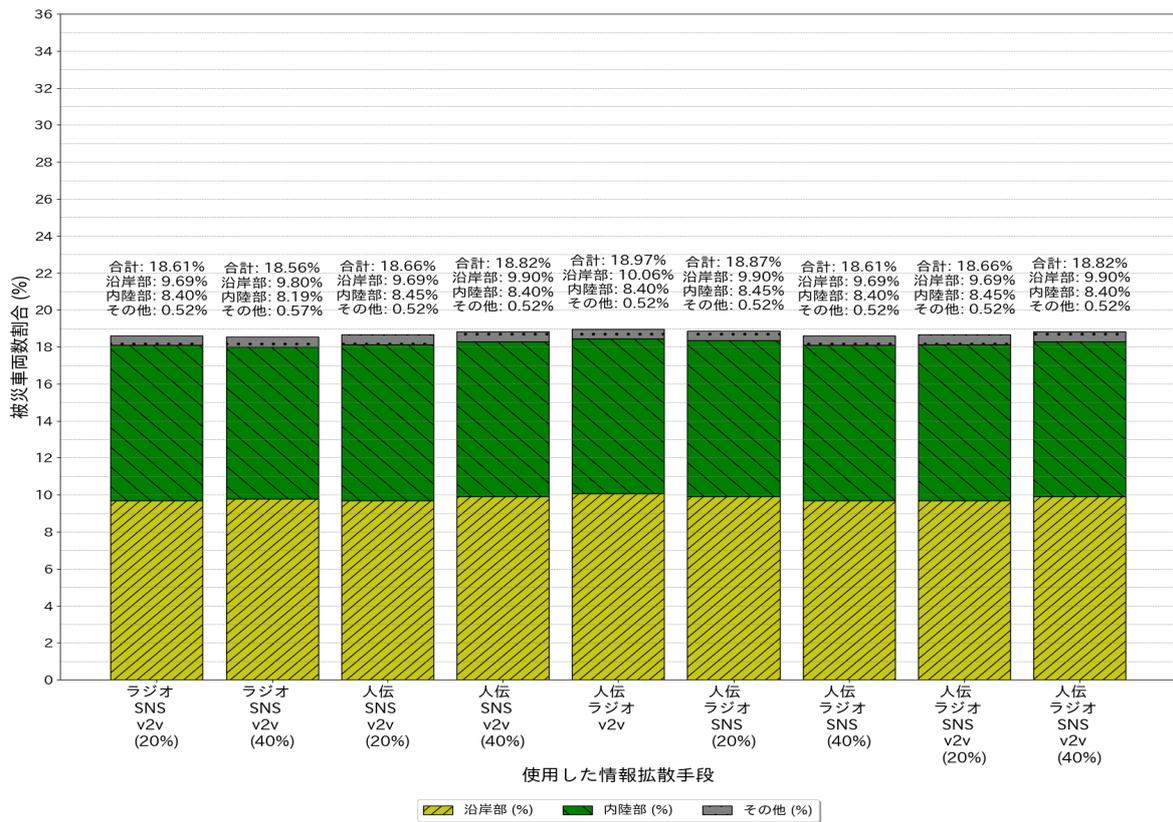


図 6.21 データ Ay (道路閉塞のみ考慮)

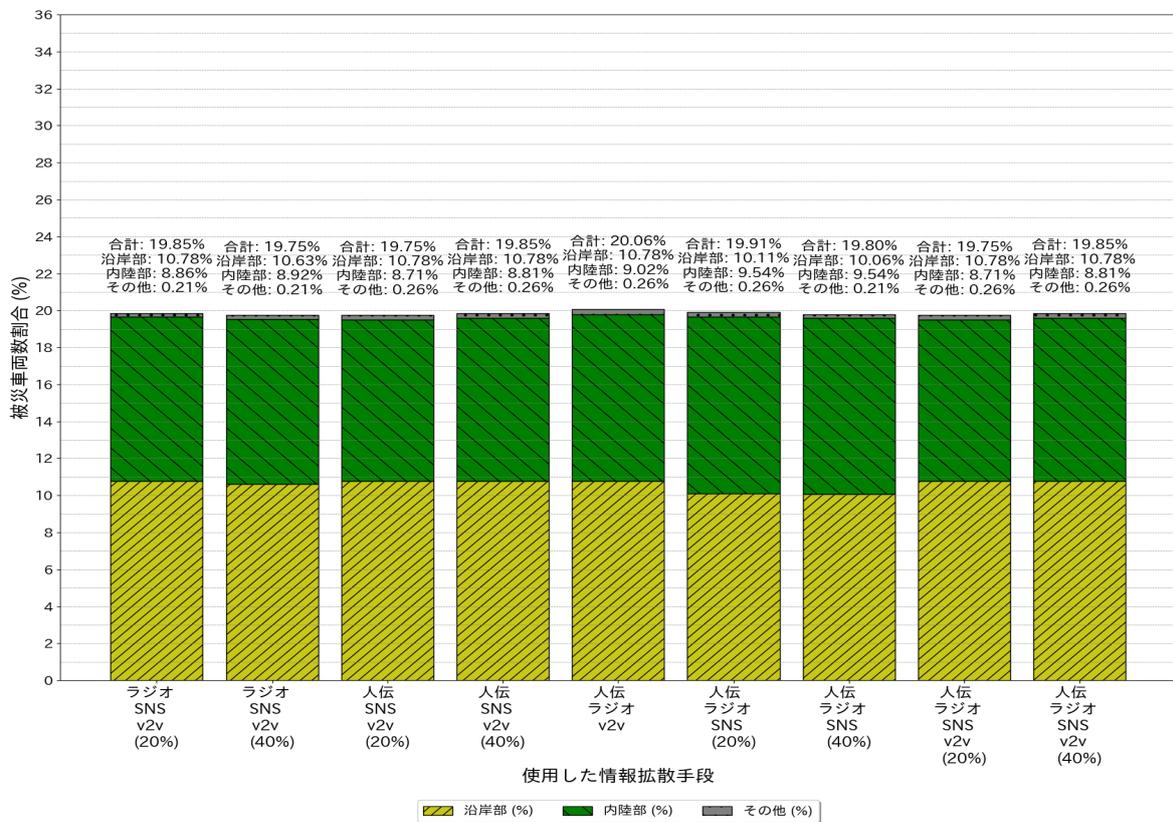


図 6.22 データ By (道路閉塞のみ考慮)

6.3 結果と考察

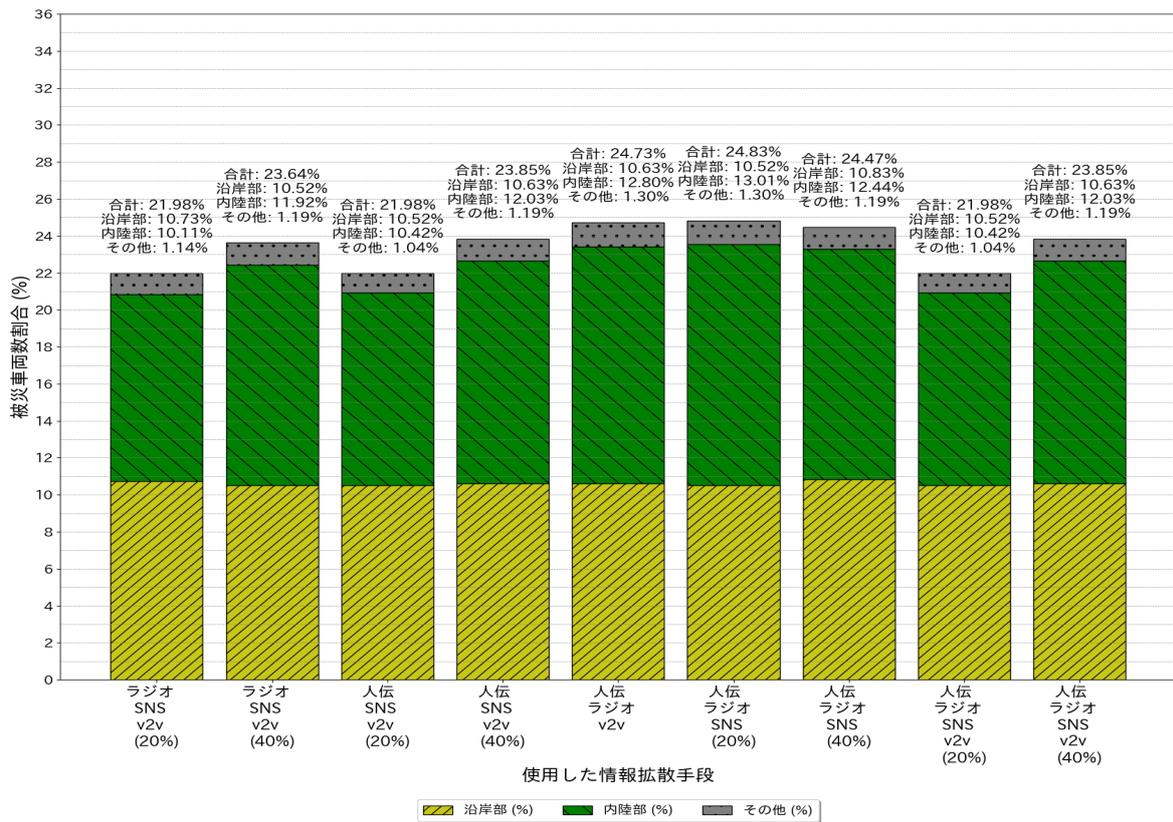


図 6.23 データ Cy (道路閉塞のみ考慮)

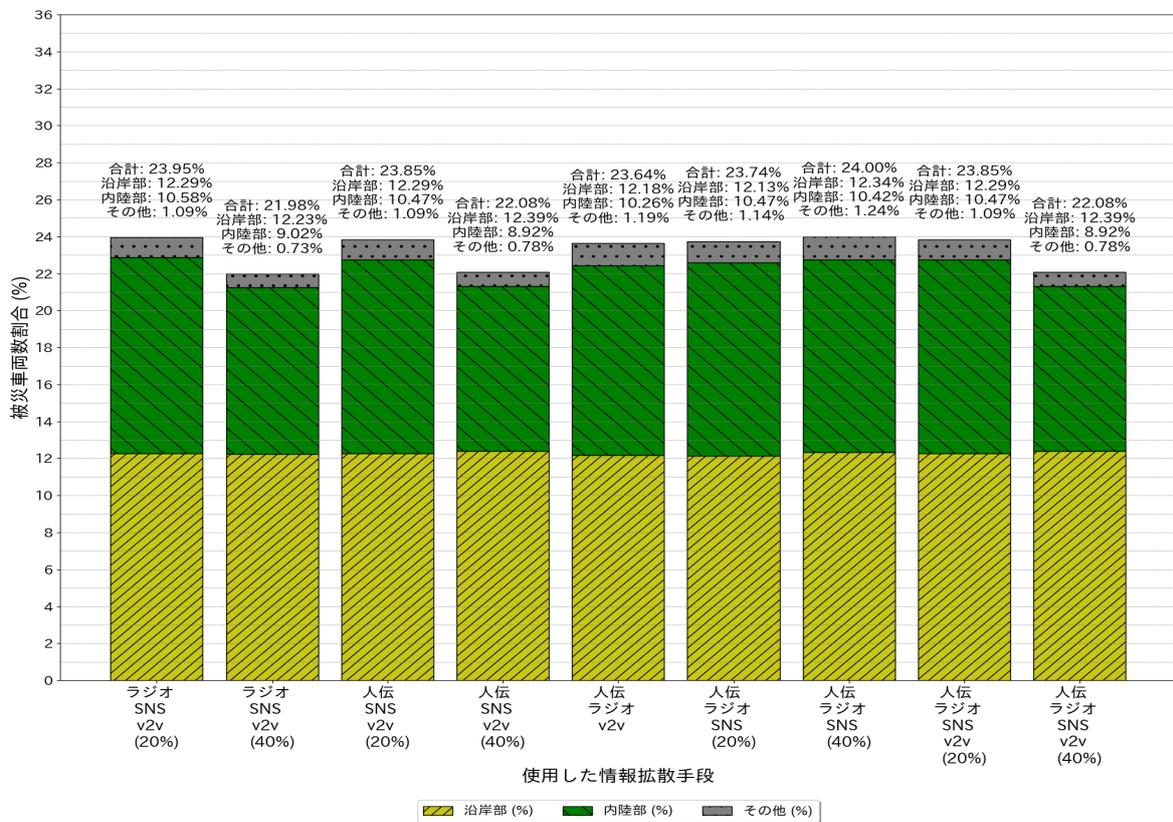


図 6.24 データ Dy (道路閉塞のみ考慮)

6.3 結果と考察

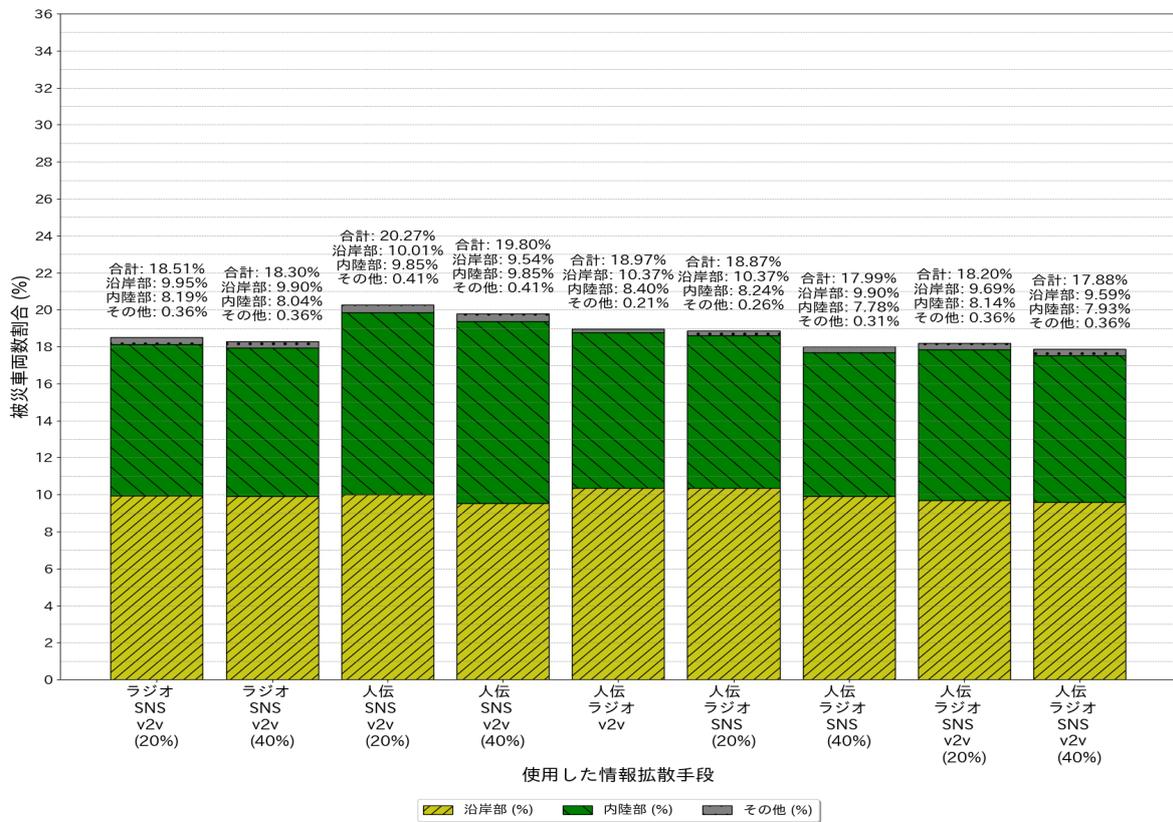


図 6.25 データ E_y (道路閉塞のみ考慮)

6.3 結果と考察

(b) 道路閉塞と渋滞を考慮

図 6.26 から 6.30 に道路閉塞と渋滞を考慮した場合の結果を示す。各データから、渋滞を考慮することで、v2v と SNS を組み合わせた場合に、有効性が大きく低下している。特に沿岸部での被災車両数が増加している。

渋滞考慮による有効性の低下は、デマ情報の拡散力が v2v により増加したからである。渋滞情報を考慮することで、道路閉塞、渋滞、デマ情報の 3 種類を回避する経路を探索するため、沿岸部を進入する車両が増加する。また、情報拡散手段を組み合わせることで、ボトルネック車両は減少する傾向にあるが、渋滞の回避のため経路変更が頻繁に起こり、ボトルネック車両との遭遇率が高くなり、被災車両数を大きく減少させることはできなかったと考えられる。

人伝、ラジオ、v2v の組み合わせでは、デマ情報は拡散されないが、他の組み合わせとの差は確認できない。これは、単体での使用と同様に、人伝や v2v では、情報拡散範囲の狭く、渋滞解消情報の取得が難しい。また、ラジオでは十分な情報が取得できなかったため、有効性に大きな変化がみられなかったと考えられる。

v2v 以外を組み合わせた場合、特に SNS 利用者割合 40% のとき、有効性が大きく向上している。これは、人伝により、車両への影響力の強い近隣の情報を取得でき、SNS とラジオによって、道路ネットワーク全体の渋滞情報と渋滞解消情報を取得できたからである。そのため、デマ情報の影響力よりも渋滞との遭遇の減少による交通効率が大きくなったからだと考えられる。

6.3 結果と考察

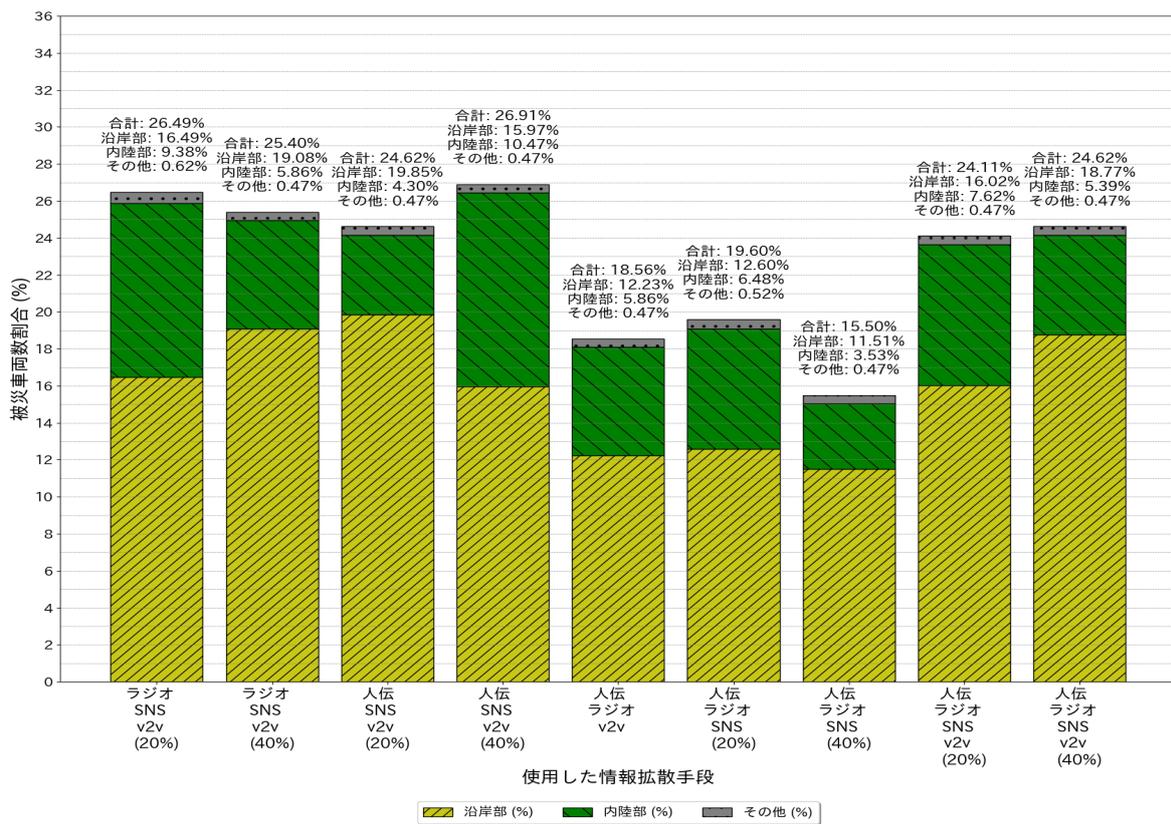


図 6.26 データ Ay (道路閉塞と渋滞を考慮)

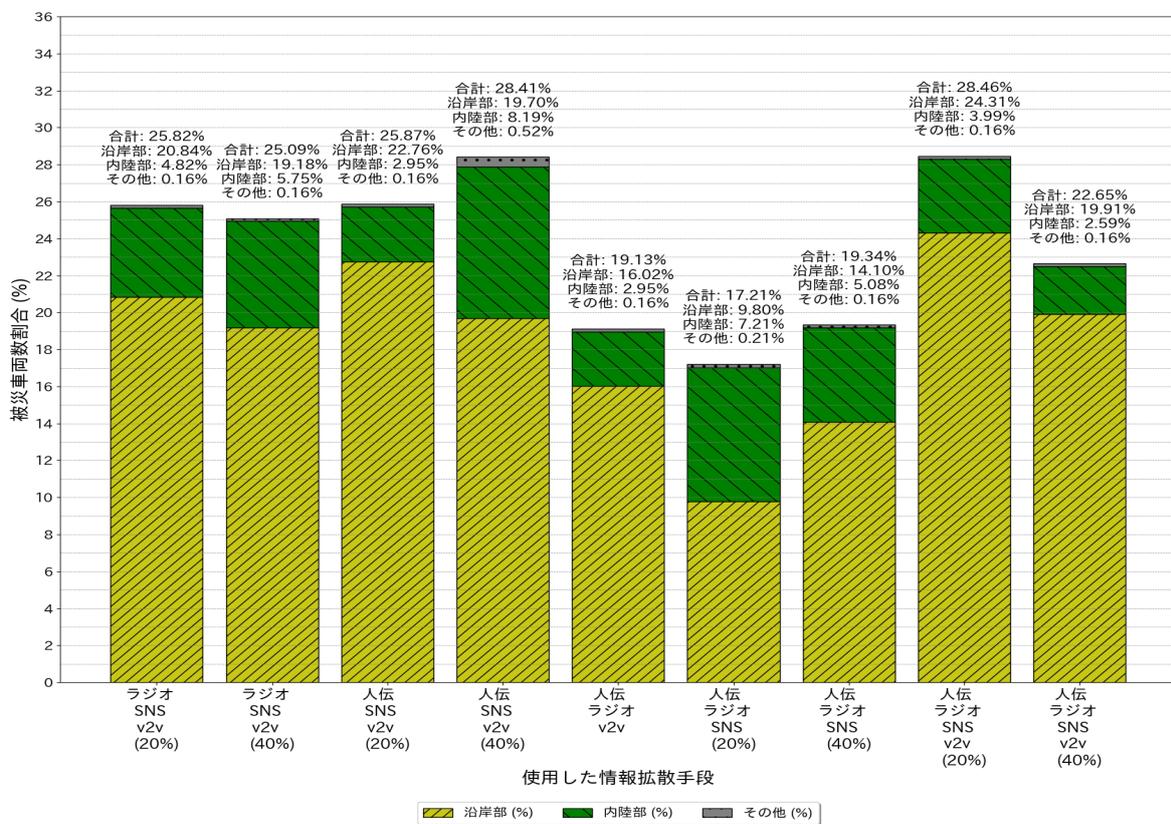


図 6.27 データ By (道路閉塞と渋滞を考慮)

6.3 結果と考察

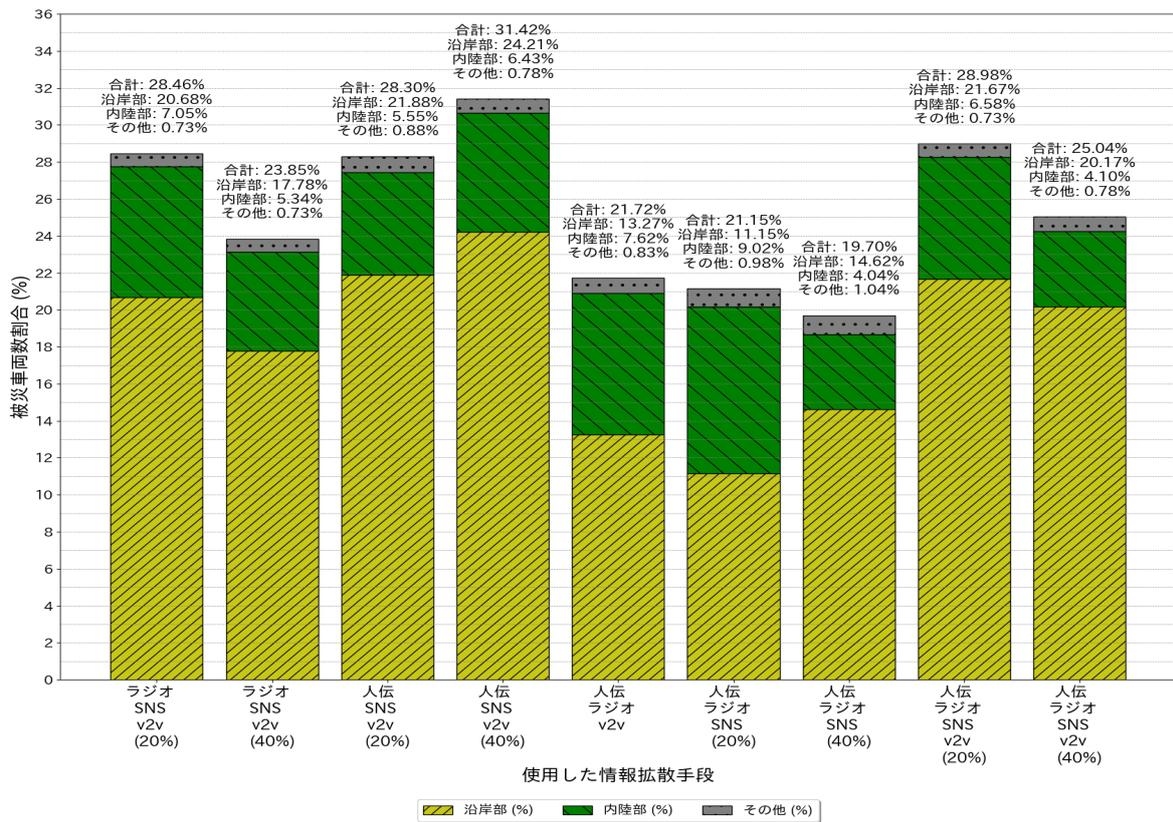


図 6.28 データ Cy (道路閉塞と渋滞を考慮)

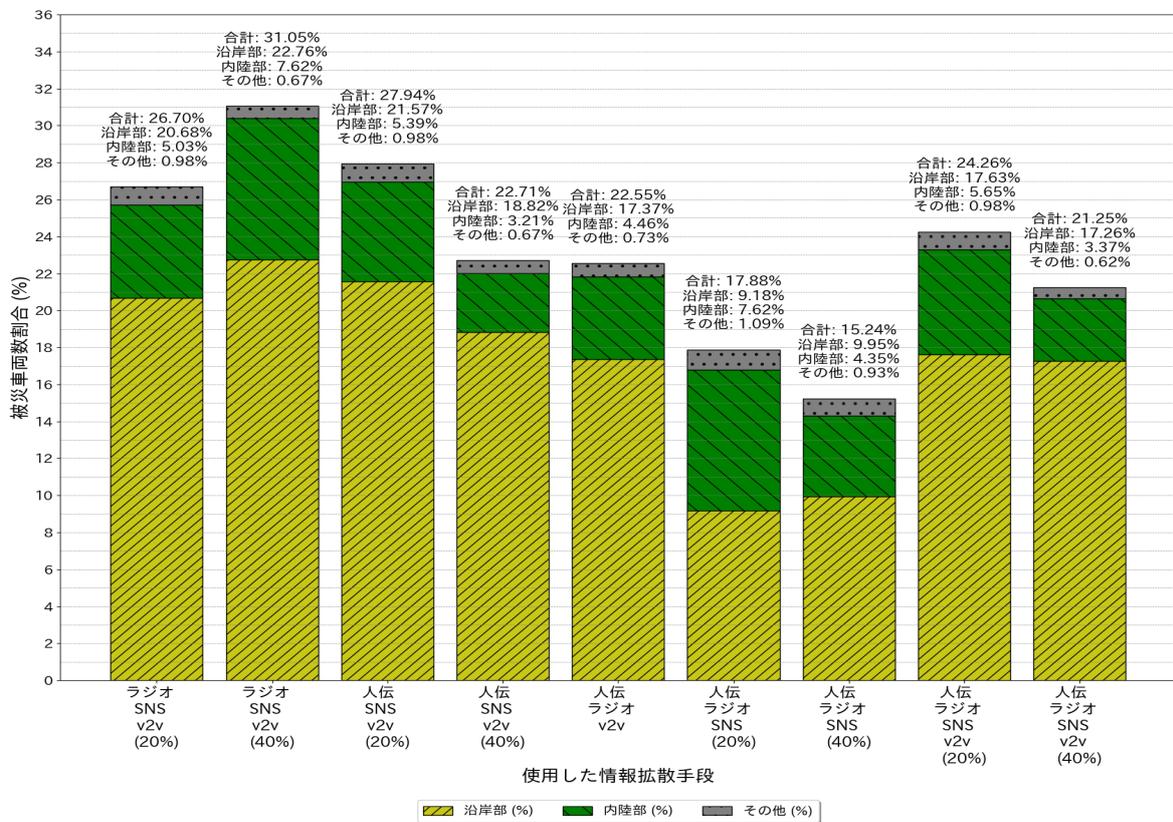


図 6.29 データ Dy (道路閉塞と渋滞を考慮)

6.3 結果と考察

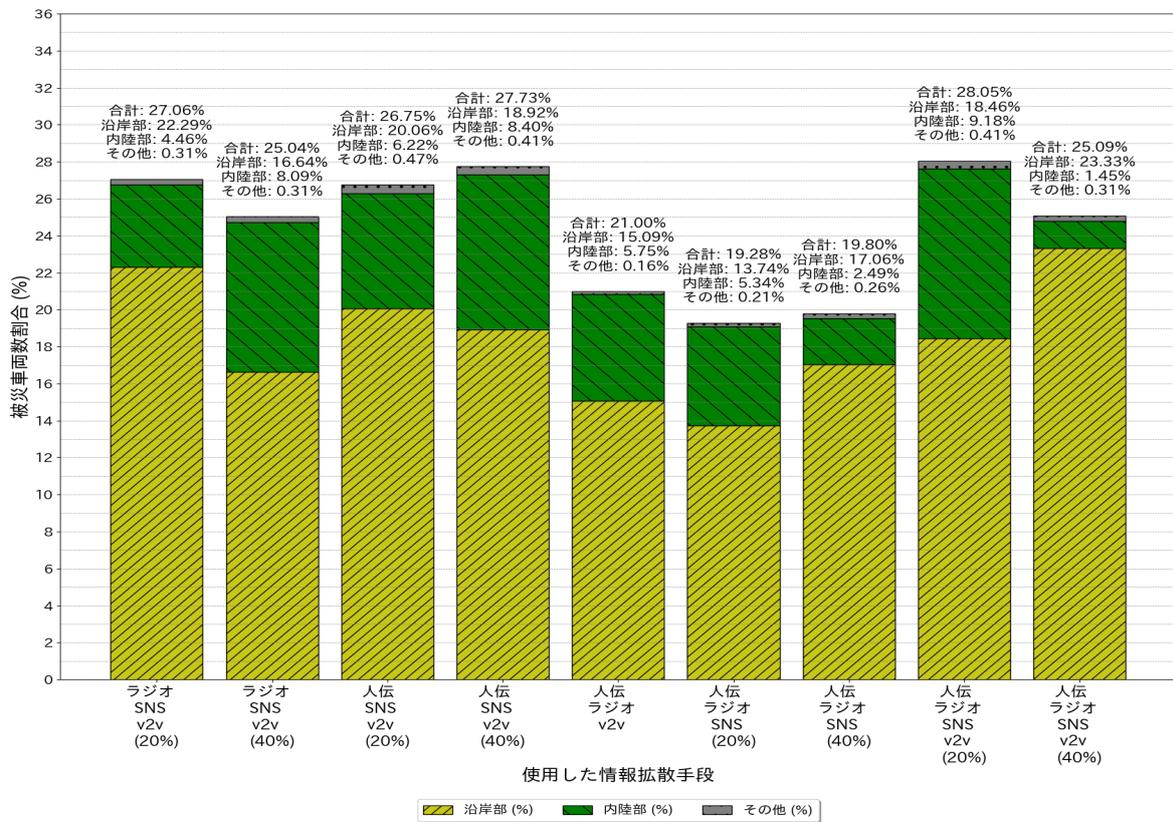


図 6.30 データ E_y (道路閉塞と渋滞を考慮)

6.3 結果と考察

(c) 道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮

図 6.31 から 6.35 に道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮した場合の結果を示す。各データから、津波遭遇リスクを考慮することで、複数組み合わせた場合の道路閉塞のみ考慮と比べ、僅かに有効性が向上する傾向がある。また、単体で使用した場合と比べ、その他の被災車両数割合の増加が低いことが確認できる。

道路閉塞のみの場合と比べ、有効性に差が出にくい理由として、単体使用での津波遭遇リスクを考慮した場合と同様に、対象地域の避難所の位置が影響していると考えられる。また、単体使用より有効性の向上率が低い理由として、拡散力の強化と経路探索回数の増加により、デマ情報の影響力が大きくなり、交通効率が悪化したからだと考えられる。

その他の被災車両数割合の増加が低い理由は、情報拡散手段を組み合わせることで、情報拡散力が強くなり、道路閉塞箇所を事前に取得できたからである。そのため、Uターンできない道路閉塞箇所に遭遇する可能性が減少したからだと考えられる。

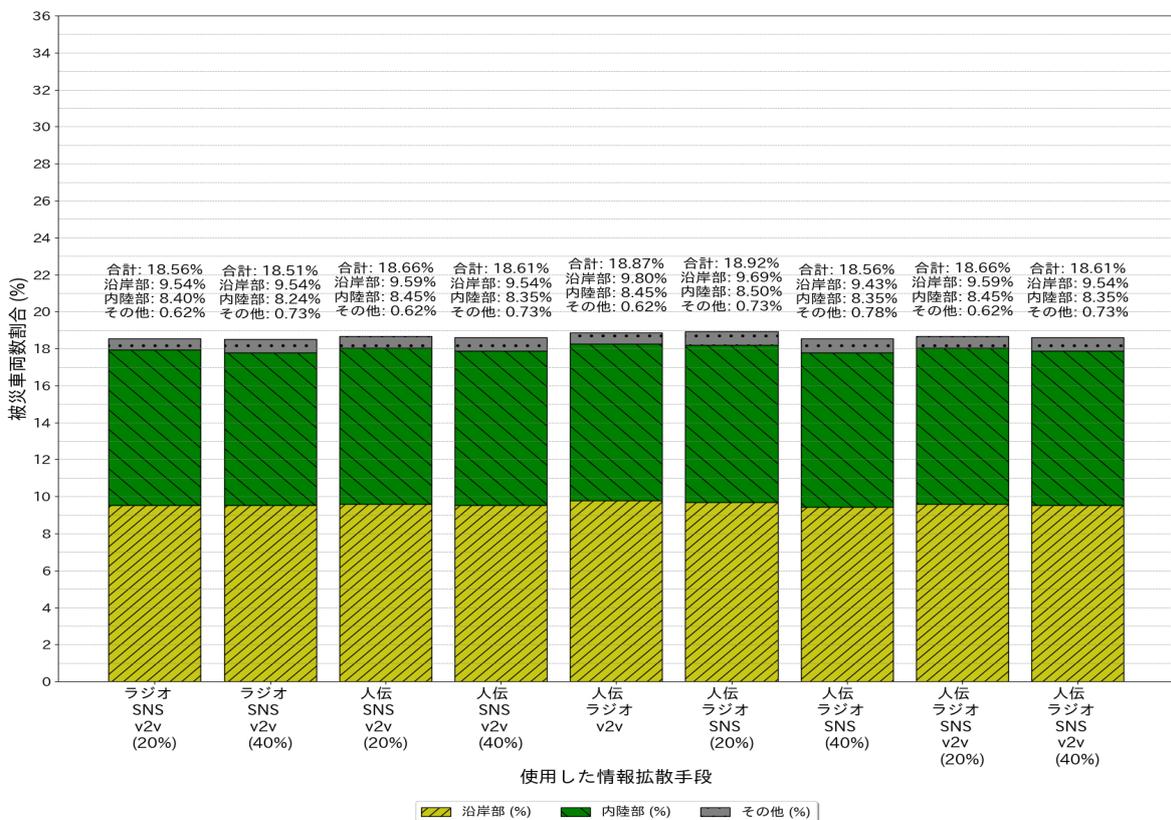


図 6.31 データ Ay (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

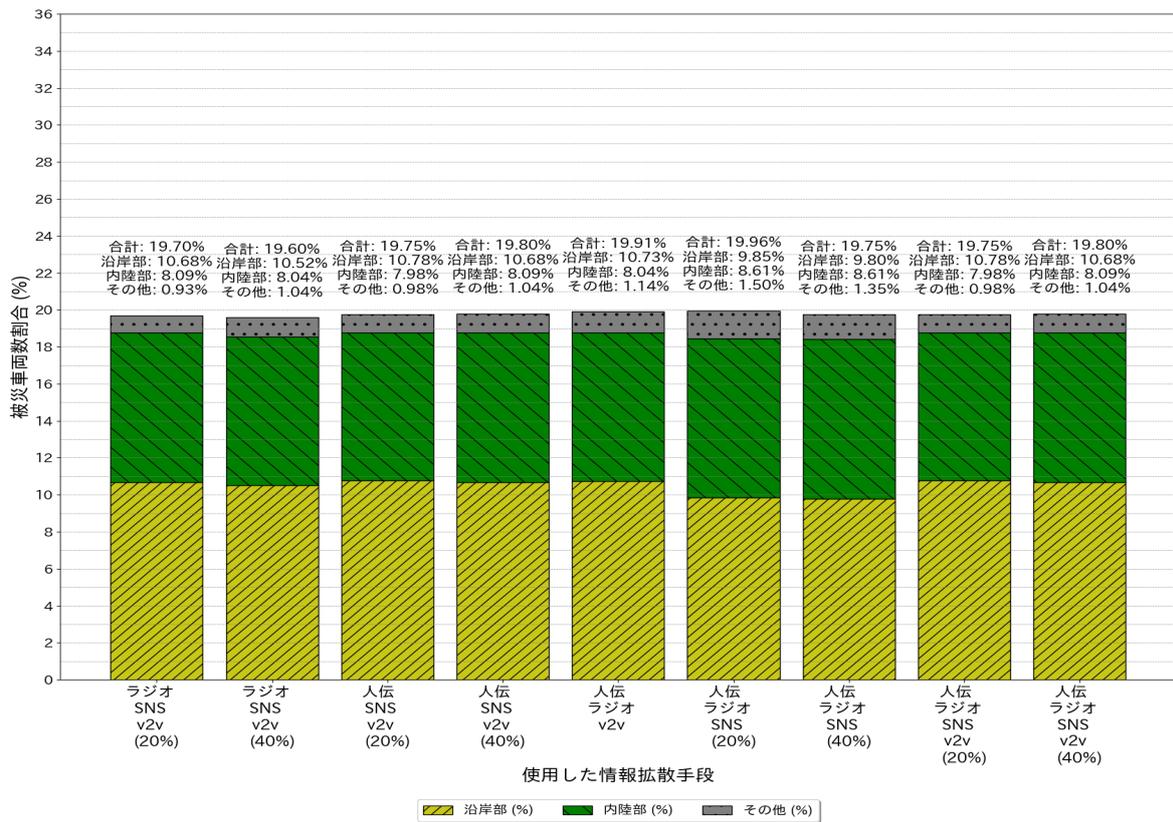


図 6.32 データ By (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

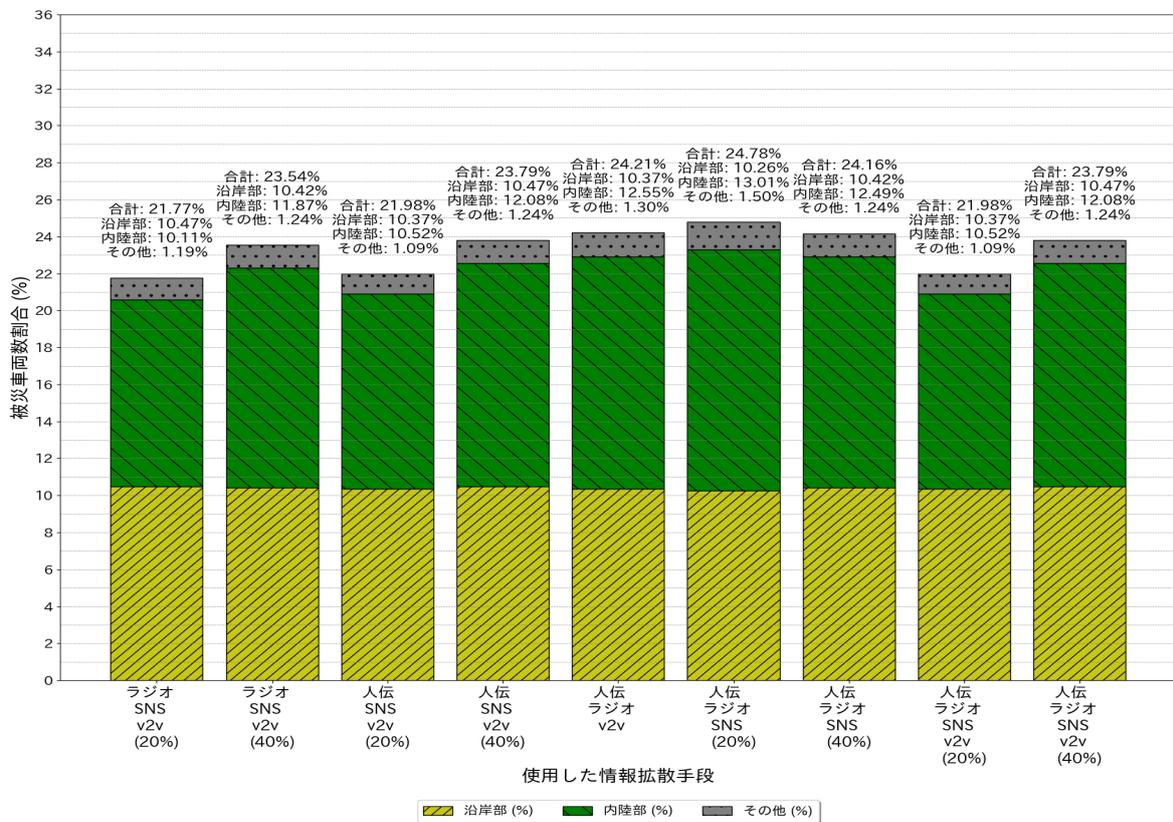


図 6.33 データ Cy (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

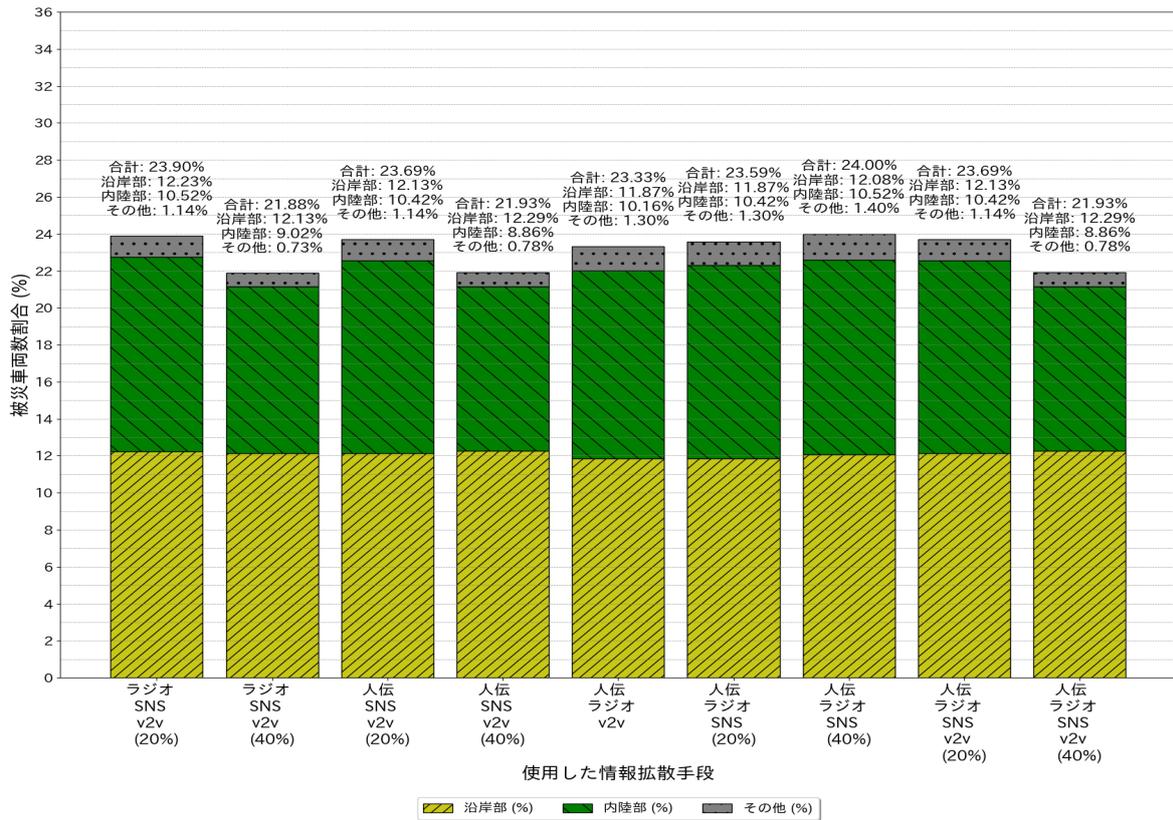


図 6.34 データ Dy (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

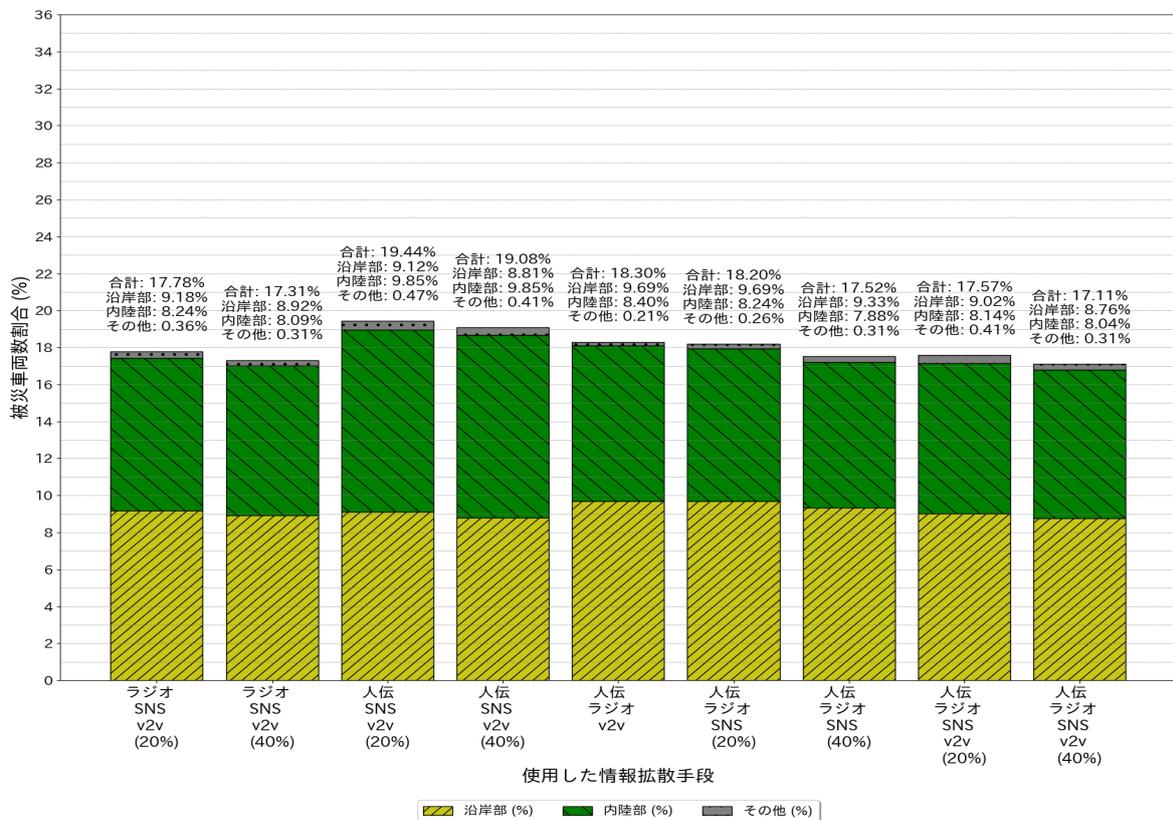


図 6.35 データ Ey (道路閉塞と津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

(d) 道路閉塞，渋滞，津波遭遇リスクを考慮

図 6.36 から 6.40 に道路閉塞，渋滞，津波遭遇リスクを考慮した場合の結果を示す。各データから，人伝，ラジオ，SNS を組み合わせた場合に，被災車両数を大きく減らすことが確認できる。データによって SNS 利用者割合による被災車両数割合の差は大きい。

SNS 利用者割合の違いによる被災車両数の増減は，これまでの考察と同様にデマ情報の影響力である。特に，情報拡散手段を組み合わせることで，渋滞情報を頻繁に更新しているため，経路変更が発生しやすく，デマ情報への依存度が大きく現れたと考えられる。

災害情報を全て考慮し，複数組み合わせた場合の特徴として，沿岸部での被災車両数の大幅な減少と組み合わせによって内陸部の被災車両数の増加に差が大きいことである。津波遭遇リスクを考慮することで，道路閉塞と渋滞を考慮したときに比べ，沿岸部での被災車両数を大きく減少できる。これは，渋滞を回避するために経路変更を行う車両が，渋滞よりも津波遭遇リスクの高い経路を回避するため，沿岸部に進入する車両が減少したからである。内陸部での被災車両数の増加率が高い組み合わせは，道路閉塞と渋滞を考慮した場合に，沿岸部での被災車両数が多いものである。そのため，沿岸部で交通量が多くなる組み合わせでは，内陸部へ避難する車両も増加する。従って，内陸部で大きな渋滞やボトルネック車両との遭遇率が向上し，被災車両数割合の総数に与える影響が小さかったと考えられる。

津波遭遇リスクを考慮しない情報拡散手段なしに比べ，災害情報を全て考慮し複数組み合わせることで，5%から 10%程度被災車両数を減少できる組み合わせが存在する。しかし，組み合わせ方によっては，被災車両数が 10%以上増加するものも存在する。特に SNS を組み合わせる場合，拡散力が強くなることや経路変更回数の増加により，デマ情報の影響力が大きくなる可能性がある。そのため，各情報拡散手段の特徴と災害情報を検討して情報拡散手段を組み合わせる必要がある。

6.3 結果と考察

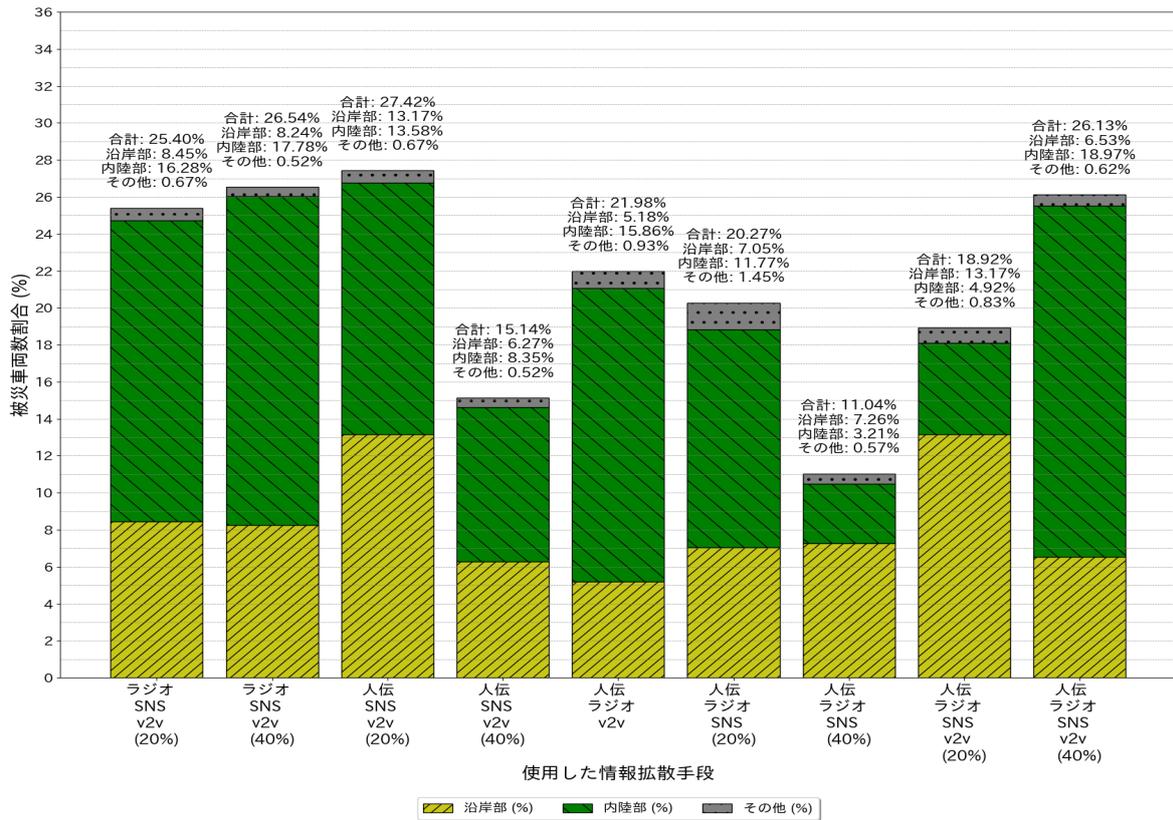


図 6.36 データ Ay (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

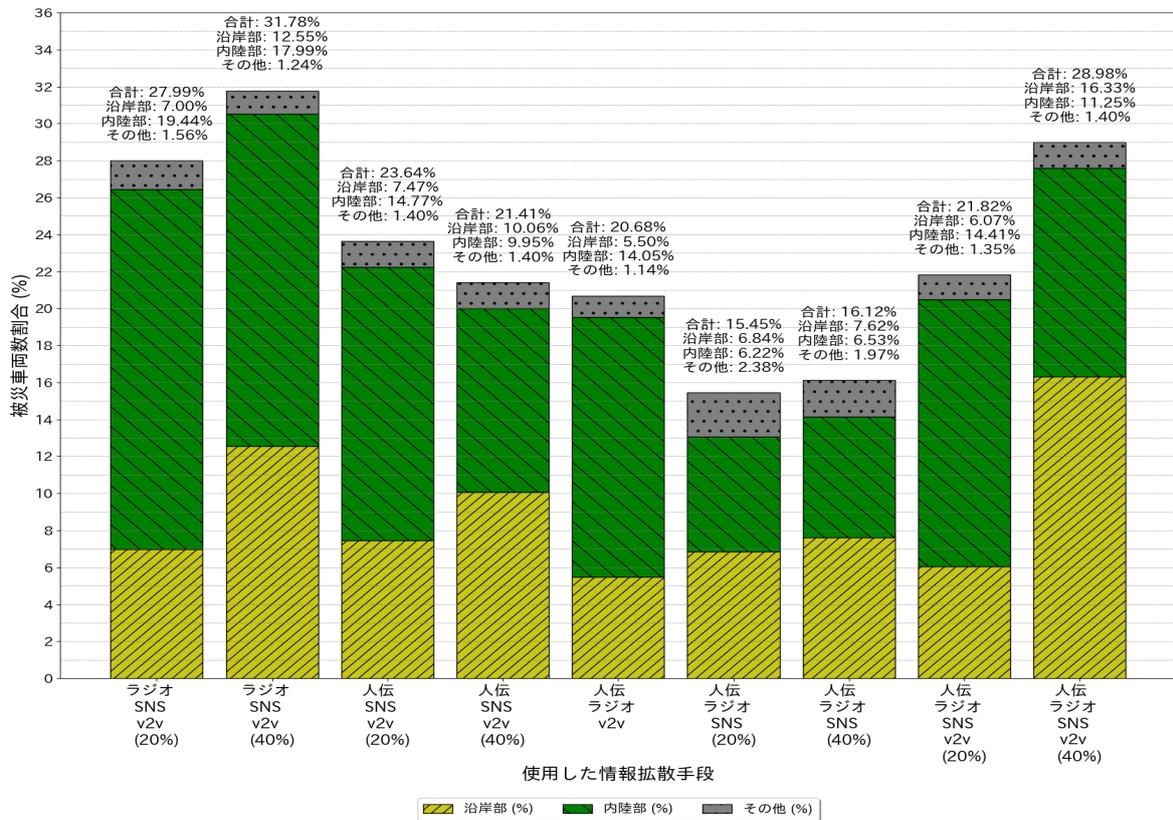


図 6.37 データ By (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

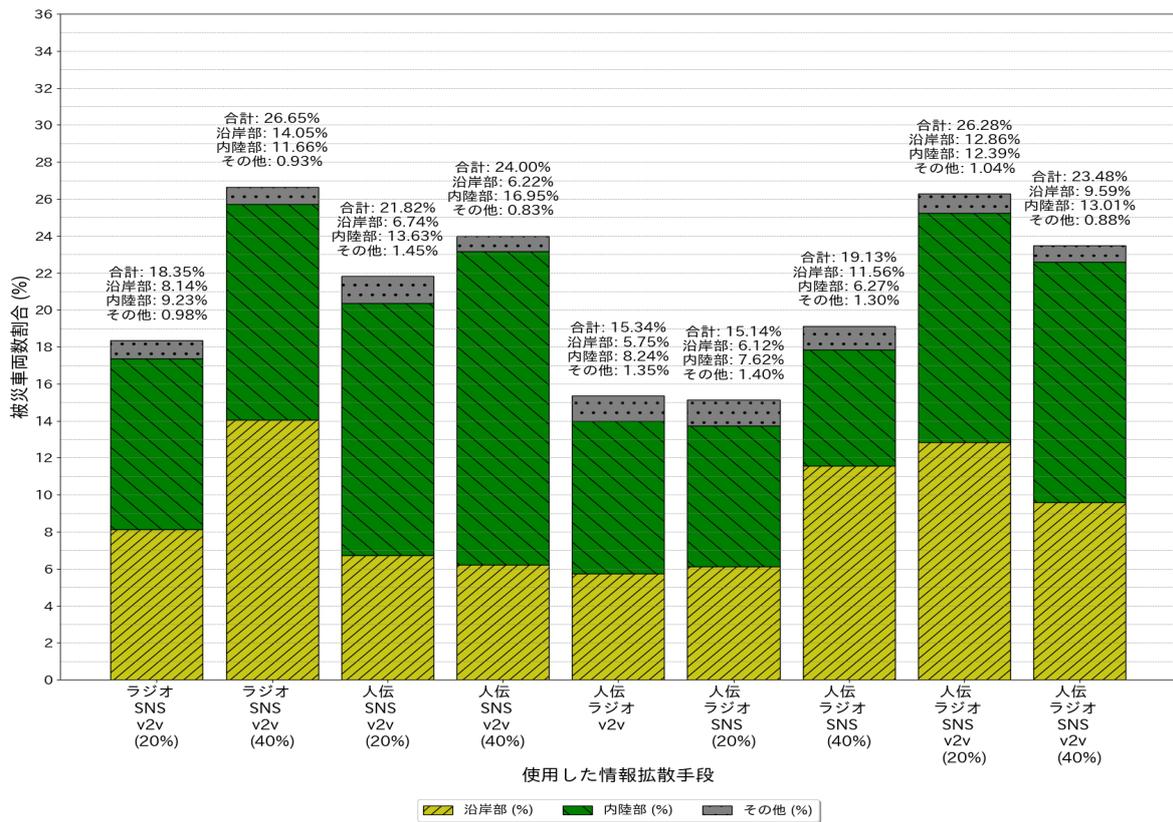


図 6.38 データ Cy (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

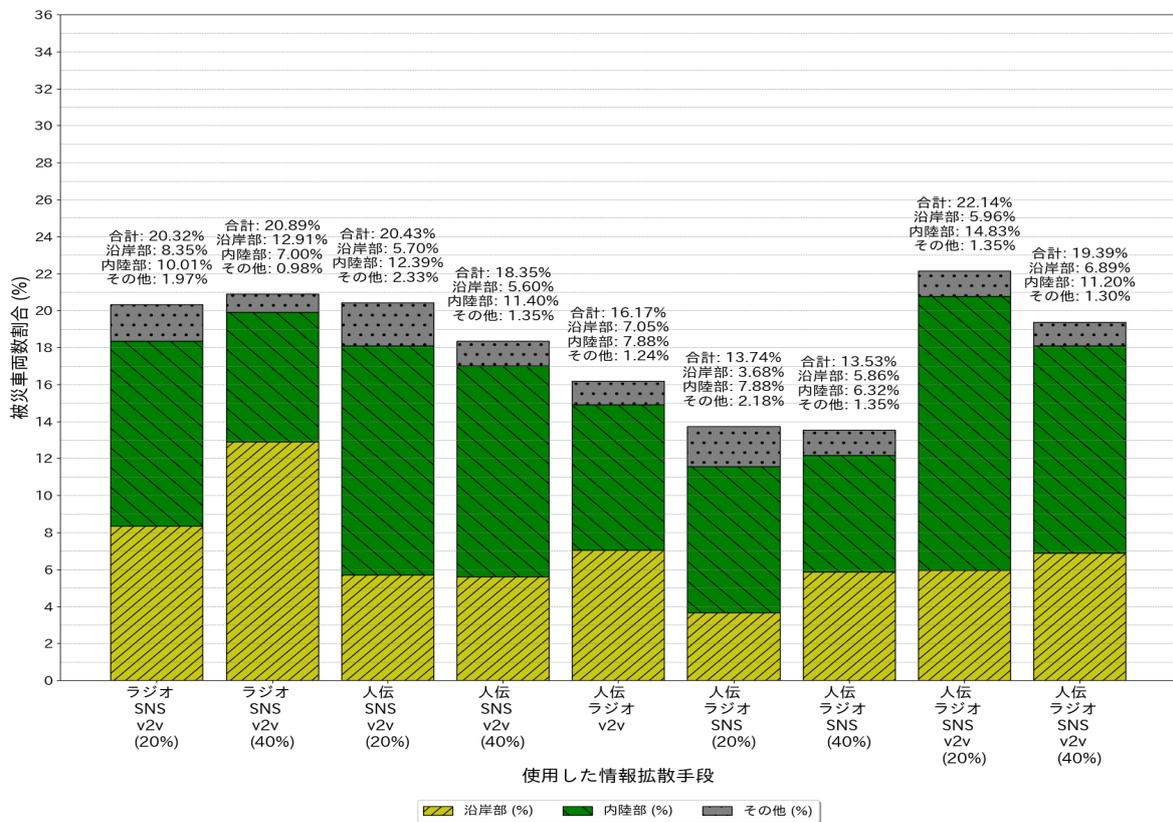


図 6.39 データ Dy (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

6.3 結果と考察

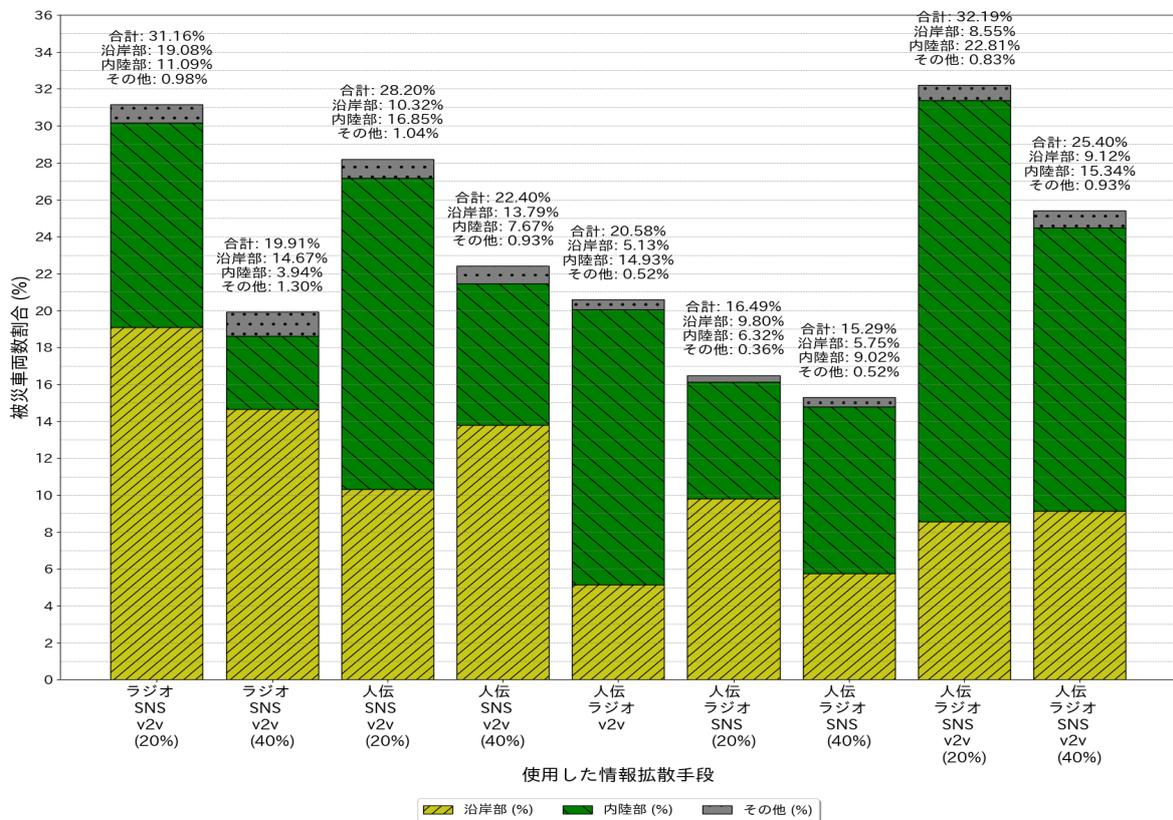


図 6.40 データ E_y (道路閉塞, 渋滞, 津波遭遇リスクを考慮)

第7章

おわりに

本研究では、災害情報と情報拡散手段の種類による有効性を被災車両数を用いて評価した。道路閉塞箇所を変更し、シミュレーションを5回行った結果、道路閉塞箇所や考慮する災害情報によって、有効な情報拡散手段が異なった。情報拡散手段を単体で使用した場合、拡散範囲や拡散できる情報量に影響を受けやすい。また、考慮する災害情報が多いほど、経路変更回数が増加し、デマ情報の影響力が大きくなる。複数組み合わせた場合には、デマ情報の拡散力が強くなり、SNSを用いた場合の有効性がデマ情報の位置に依存しやすい。v2vでは他の情報拡散手段によって情報が拡散されることで、車両の位置関係が変わることで、被災車両数が増加する可能性もある。従って、情報拡散手段を組み合わせる場合、道路閉塞箇所の位置、津波到達時間、情報拡散手段の特徴など、様々な要因を検討して、組み合わせる必要がある。

本研究では、各車両が独立して避難経路を決定する分散型であったため、道路ネットワーク全体での最適化が行えず、道路閉塞、デマ情報、渋滞の発生場所に影響を受けた。今後の方針として、拡散する情報の追加と新しい情報拡散手段の検討を行う必要がある。拡散する情報として、避難経路を拡散することで、渋滞地点を予測した避難経路の作成が可能である。新しい情報拡散手段では、路車間通信やデマ情報を解消できるような情報拡散手段を追加した場合の避難行動について検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教員及び主査を担当して下さった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，同学群の福本昌弘教授，高田喜朗教授には，本研究の副査をお引き受け頂き，ご指摘，ご質問を頂きましたことを感謝申し上げます。最後に，本研究の方針についてのご意見をいただいた渡辺さん，研究内容に改善案を示してくれた同研究室の皆様にも厚く御礼申し上げ，感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 内閣府, 気象庁, 総務省消防庁, ”平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）分析結果”, <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/pdf/1.pdf>, (参照 2024-01-09).
- [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>, (参照 2024-01-09).
- [3] 国家公安委員会, ”交通の方法に関する教則の一部を改正する件”, 平成 24 年国家公安委員会告示第 8 号, 2012.
- [4] 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>, (参照 2024-01-09).
- [5] 奥村 誠, ”避難交通計画における最適化アプローチ：変動する被災リスク、歩車競合、要支援者を考慮する”, <http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~keikaku/labohp/activity/bocchan/08/okumura.pdf>, (参照 2024-01-09).
- [6] NEC, ”“スーパーコンピュータ・シェアリング”による世界初のリアルタイム津波浸水被害推計システム”, <https://wisdom.nec.com/ja/technology/2017052501/02.html>, (参照 2024-01-09).
- [7] 渡辺奈実, 横山和俊, ”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”, 情報処理学会第 85 回全国大会会講演論文集第 1 分冊, pp.235-236, 2023.
- [8] 奥村誠, 片岡侑美子, 金進英, ”津波遭遇リスクを最小化する自動車避難最適化モデル”, 土木学会論文集 D3(土木計画学)Vol.73, No.5(土木計画学研究・論文集第 34 巻), I 1083-I 1092, 2017.

参考文献

- [9] 杉野修弥, 横山和俊, ” 災害発生時における津波リスクと情報拡散手段の組み合わせを考慮した避難手法の評価”, 第 31 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.248 - 252, 2023.
- [10] NEXCO 中日本, ” 渋滞の定義は?”, <https://highwaypost.c-nexco.co.jp/faq/traffic/rule/345.html>, (参照 2024-01-18).
- [11] 高知県 危機管理・防災課, ” 高知県防災マップ”, <https://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/top/select.asp?dtp=4> (参照 2024-01-09).
- [12] German Aerospace Center, ” Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes”, https://sumo.dlr.de/docs/Definition_of_Vehicles%2C_Vehicle_Types%2C_and_Routes.html#vehicle_types, (参照 2024-01-23).

付録 A

図 A.1 から図 A.5 は、5 パターンの道路閉塞箇所である。赤色の道路は道路閉塞箇所であり、オレンジ色の道路はデマ情報を示す。



図 A.1 道路閉塞パターン A



図 A.2 道路閉塞パターン B



図 A.3 道路閉塞パターン C

