沿岸観光地における津波避難からみた無電柱化優先度に関する研究

神谷　大介[1]・上地　安諄[2]・大庭　哲治[3]

[1]正会員　琉球大学准教授　工学部（〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1）
E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp (Corresponding Author)

[2]学生会員　琉球大学大学院理工学研究科（〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1）
E-mail: k238671@eve.u-ryukyu.ac.jp

[3]正会員　京都大学准教授　経営管理大学院（〒615-8501 京都府京都市左京区吉田本町）
E-mail: oba.tetsuharu5n@kyoto-u.ac.jp

無電柱化の推進の必要性については多くの議論がなされているが，その優先順位の決定方法には課題がある．また，無電柱化は景観・交通安全・防災の観点から述べられているが，防災の観点からの研究は多くない．防災についても災害復旧における支障除去の観点から緊急輸送道路における無電柱化についての議論に留まっている．

本研究では，津波災害リスクを有する石垣市市街地を対象とし，住民と観光客の避難行動分析に基づき，避難経路としての重要性の観点から無電柱化優先度についての検討を行った．

Key Words: *undergrounding and utility pole removal project, tsunami hazard risk, tsunami evacuation, coastal sightseeing region*

1. はじめに

近年，多くの国や地域において無電柱化が推進されている．無電柱化は良好な景観形成や安全な通行空間の確保，防災性の向上といった観点から進められてきた[注 1)]．資産価値の向上や地域活性化等の効果も期待することができ，さらに日本の自然災害リスクの高さに鑑みると，無電柱化の重要性は一層高まっていると考えられる．**図-1** に示す国内外の無電柱化の状況をみると，パリやロンドン，香港やシンガポールといったヨーロッパやアジアの主要都市では無電柱化が概成しているのに対し，日本の無電柱化率は東京 23 区で 7%，大阪市で 5%と遅れている状況である[注 1)]．

これまで，無電柱化の景観評価や効果検証に関する研究論文は一定の蓄積が進んでいるものの，交通安全や防災の観点から見た研究は多くなく，その学術的知見は不足していると考えられる [1)]．新設電柱の抑制や事業コスト縮減の推進，事業のスピードアップ等，無電柱化整備の加速化への期待が高まっていることから，実務や政策へ展開できる実用性のある技術開発，またその整備戦略の構築が求められている．なお，先行研究の詳細については大庭ら [1)]を参照されたい．

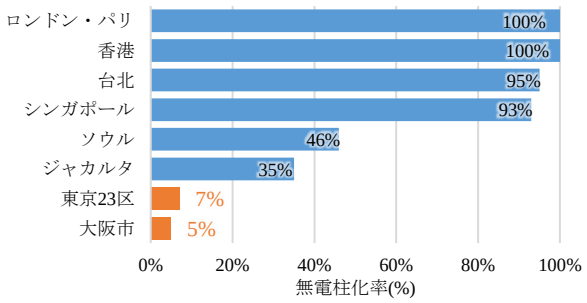


図-1　無電柱化の整備状況[注 1)]

災害発生時の電柱倒壊は道路閉塞を引き起こし，避難・救助活動の妨げとなる懸念がある．これに対し，無電柱化推進計画[注 2)]において，既設電柱の撤去については緊急輸送道路における無電柱化についての議論がされているものの，占用制限導入の優先順位の決定方法については検討の途に就いたという状況である[注 3)]．

以上の認識の下，本研究では**図-2** に示す津波災害が懸念される沖縄県石垣市[注 4)]を対象に，避難経路の重要性という観点から優先的に無電柱化整備を進めるべき道路を明らかにすることを目的とする．観光地であることに

鑑み，住民による観光客の避難支援を考慮したマルチエージェントシミュレーション(MAS: Multi Agent Simulation)による津波避難シミュレーションを行い，避難経路の重要度を評価する．本研究は無電柱化の効果の一つである防災の内，避難路の観点での評価を意図したものであり，無電柱化推進計画への適用においては，景観や交通安全，被災後の応急復旧活動への貢献度と組み合わせて活用することを想定している．

本研究の構成は以下の通りである．2.では無電柱化優先度の考え方を示し，3.では研究対象地域と津波避難シミュレーションモデルの概要を述べる．4.では住民と観光客の避難行動分析結果より，避難経路の重要性という観点からみた無電柱化優先度の高い道路を示す．5.では得られた結果と今後の課題についてまとめる．なお，本研究における無電柱化とは，電線（電力線や通信線）および関連施設を地中に埋設する方式である電線類地中化を意味している．

2. 無電柱化優先度の考え方

架空の配電線や通信線の地中化は，観光地においては景観面への効果[注5)]が確認されており，津波被災リスクのある沿岸地においても被害の軽減効果があると考えられる．2011 年 3 月の東日本大震災では約 28,000 基の電柱が倒れ，緊急車両の通行や避難者の行動に支障をきたしている[注6)]．これらのことから，本研究では経路の通過人数を避難経路の重要性を評価する指標として設定し，無電柱化優先度の高い道路を決定する．

本研究では，経路の通過人数は住民と観光客を区別して計測を行い，通過人数の多い経路ほど無電柱化優先度が高いものとする．また，対象地域内の全ての道路を無電柱化することは困難であることから，予算制約の代替として無電柱化整備における距離制約を設けた．沖縄県無電柱化推進計画[注7)]では，約45km（5年間）を整備目標としていることから，本研究ではこの値を全市町村数（41 市町村）で除すことで算出した約 1km（5 年間）を無電柱化することができるものとして設定した．

本稿では時間帯毎に避難シミュレーションを行い，無電柱化優先道路を決定し，その空間的な重なりによって避難経路として重要性が高い道路を明らかにする．

3. 対象地域と津波避難シミュレーションの概要

(1) 研究対象地域の概要

沖縄県石垣島は石垣港を拠点とした離島周遊観光が盛んに行われており，図-2 に示す市街地には多くの観光客

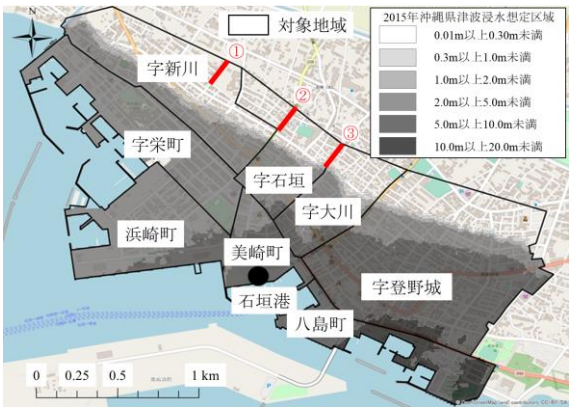


図-2 研究対象地域[注4)]

表-1 想定地震別の第一波到達時間[注8)]

想定地震	地点 最高位(m)	最大 遡上高(m)	第一波到達 時間(min)
石垣島南方沖	5.7	14.8	12.0
石垣島東方沖	4.5	12.8	21.0
石垣島北方沖	3.6	5.2	35.0



図-3 市街地の道路状況
※図中の番号は図-2 に示す番号と一致している

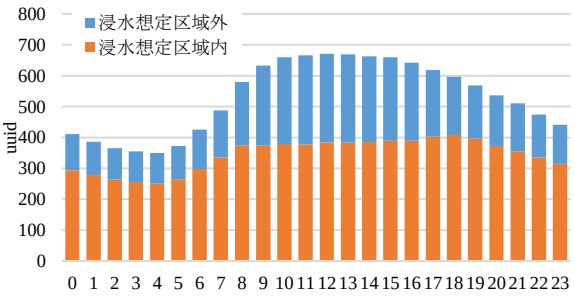


図-4 時間帯・浸水想定区域別観光客数[2)]

が集まる．本研究の対象地域である石垣市は，市街地や空港，リゾートホテル等が津波浸水想定区域内に位置している島嶼観光地である．市街地の中心に位置する石垣港に石垣島南方沖で地震が発生した場合，表-1 に示すように 12 分で津波第一波が到達するとされるため，津波発生時には甚大な被害が想定される[注4),注8)]．また，図-3 に示すように，市街地内の道路幅員は電柱の長さよりも短く，電柱が倒壊した際は避難行動に支障をきたし，人的被害が懸念される．なお，図中の番号は図-2 に示す番号

と一致している．

新垣ら[2]は携帯電話 GPS データを使用し，**図-4** に示すように約 7 割以上の観光客が津波浸水想定区域内に滞留していることを示しており，これは住民についても同様である．災害発生時には土地勘のない観光客も被災する恐れがある．過去に被災地となった観光地において，手控え行動等により観光客の回復が困難である[3]ことからも，住民による観光客への避難支援を行い，被災リスクを低減させる必要があると指摘している．

そこで，被災リスクの高い石垣市市街地を対象に，住民と観光客の避難を想定した津波避難シミュレーションを行う．

(2) 電柱計測調査の概要

対象地域内の電柱の数を把握するため，2021 年 12 月 25 日，26 日の 2 日間調査を行った．調査方法は携帯電話の GPS 機能を用いて，自身の位置情報を基に電柱のある位置にポイントを作成した．調査には「ArcGIS Field Maps」[注9)]のアプリを使用した．

調査結果を**図-5** に示す．対象地域内で 2,922 本の電柱を確認し，そのうち電力柱と通信柱の両方の役割を担っている電柱が全体の約 4 割を占めており，最も多い結果となった．また，これらをリンク毎に集計した結果を**図-6** に示す．なお，本研究における電柱とは，電力柱と通信柱を合わせたものを意味している．

(3) 津波避難シミュレーションモデルの概要

本モデルでは，交差点・避難場所をノード，道路をリンクで表現し，住民と観光客が避難することを想定する．住民は最寄りの避難場所まで海側とは反対に最短経路で浸水想定区域外もしくは津波一時避難ビル[注10)]に避難し，この時に観光客へ避難を促す声掛けを行う．また，15 歳未満の住民は最も近い 15 歳以上の住民に追従することとする．地理的不案内である観光客においては，津波発生時はその場から動かず，声掛けを行う住民が半径 10m 以内にいる場合のみ，一緒に行動するものとする．

また，住民及び観光客は時間帯によって活動内容は異なり，その分布は変化すると考えられる．そこで，3 つの時間帯（夜・早朝：4 時台，昼：12 時台，夕方：19 時台）を設定し，これらの時間帯における避難行動を分析した．

本シミュレーションでは，**表-2** に示すデータを用いて住民の数や初期位置を設定した．また，避難開始時刻については既存調査結果[注19)]を参考に設定しており，観光客の数と初期位置は小谷ら[4]と同様に携帯電話 GPS データより算出した交差点あたりの観光客数から設定し，移動速度は 0.67m/s[注20)]とした．シミュレーションの詳細については小谷ら[4]に示す通りである．その概要を**表-3** に，

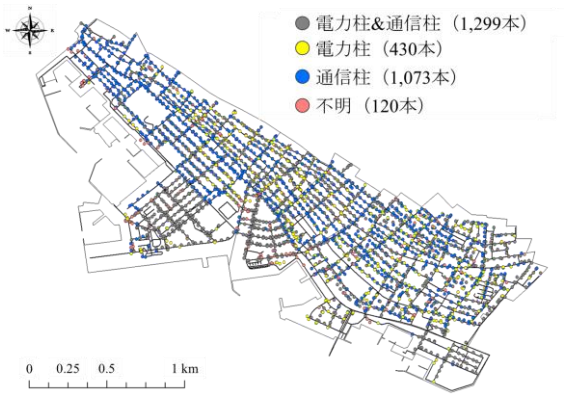


図-5 電柱の分布図

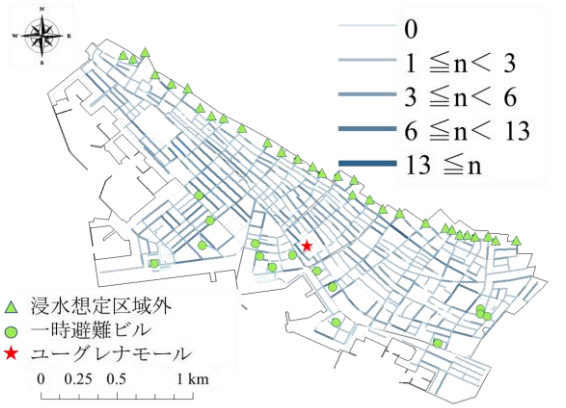


図-6 リンク別電柱数

表-2 初期値の設定に用いたデータ概要

データ名	使用用途
国勢調査[注11)]	4 次メッシュあたりの住宅・年齢別人口の把握
建物ポイントデータ[注12)]	建物情報の把握
住生活基本計画[注13)]	住宅毎の最大居住人数の把握
経済センサス[注14)]	4 次メッシュあたりの従業者数の把握
携帯電話 GPS データ[注15)]	観光客数の把握
石垣市宿泊施設一覧[注16)]	石垣市内の宿泊施設毎の定員の把握
石垣市保育施設一覧[注17)]	保育施設の把握
石垣市立小中学校学級数・児童生徒数[注18)]	小中学校及び児童生徒数の把握

表-3 住民の初期位置の概要

		15 歳未満	15 歳以上 65 歳未満	65 歳以上
初期位置	夜・早朝	住宅	住宅，宿泊施設（ホテル従業員）	住宅
	昼	学校	勤務地	住宅
	夕方	住宅	住宅，勤務地	住宅
移動速度		—	0.72m/s[注20)]	0.67m/s[注20)]

分布を**図-7** に示す．この図より，どの時間帯においても住民は市街地全体に広く分布していることに対し，観光客は市街地中心部である「美崎町」やその中にある「石

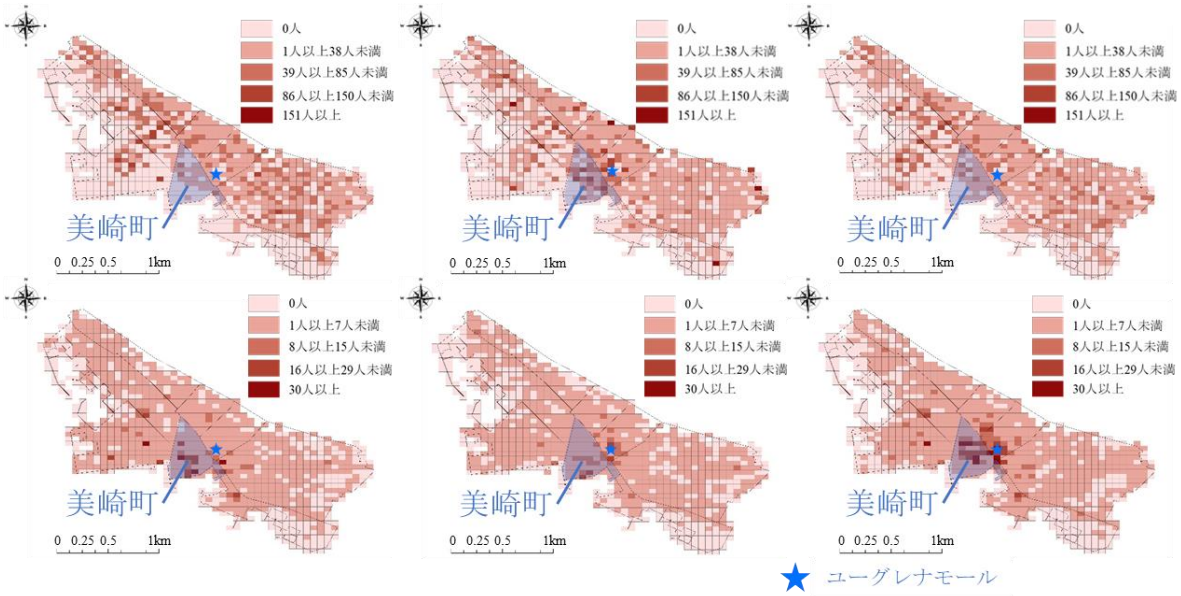


図-7　住民（上）と観光客（下）の時間帯（左：夜・早朝，中央：昼，右：夕方）別初期位置の分布図

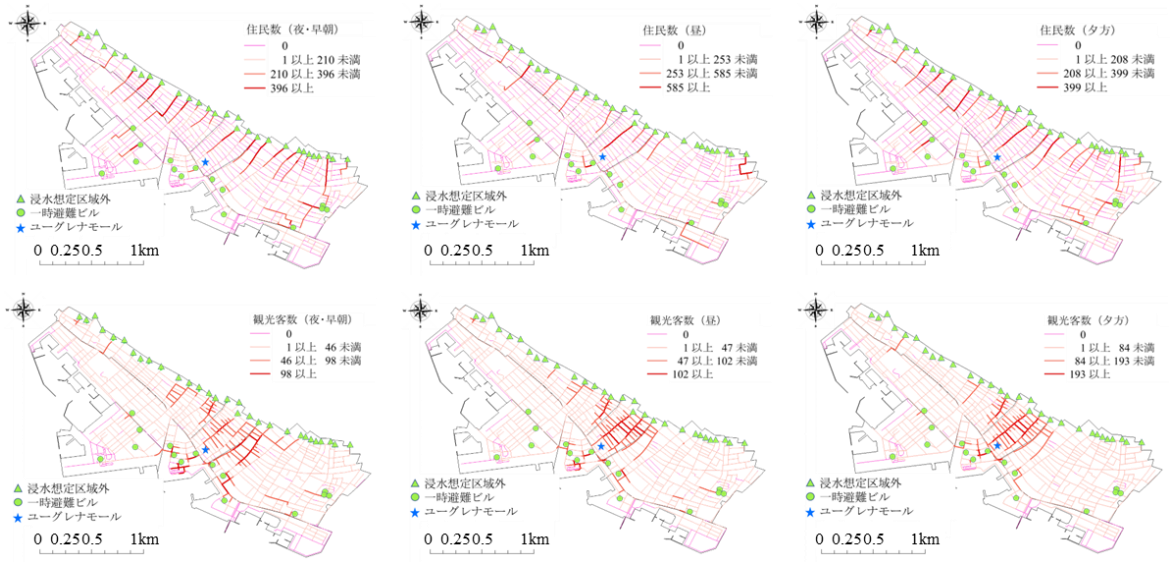


図-8　住民（上）と観光客（下）の時間帯（左：夜・早朝，中央：昼，右：夕方）・経路別通行人数

垣港離島ターミナル」，商店街である「ユーグレナモール」付近に集中していることがわかる．

4.　避難経路の重要性の観点からみた経路の評価

(1)　時間帯・経路別通行人数

津波避難シミュレーションにより算出した時間帯・経路別通行人数の結果を**図-8** に示す．これより，全時間帯において一時避難ビル及び浸水想定区域外に隣接する経路の通過人数が多いことがわかる．また，観光客は「美崎町」から「ユーグレナモール」を通って浸水想定区域外に避難する経路に集中していることから，相対的に避難経路としての重要性が高いと考えられる．

(2)　時間帯別無電柱化優先道路

また，各時間帯における無電柱化優先度の重なりの度合いを表したものを**図-9** に示し，以下に考察する．

a)　夜・早朝（4 時台）の時間帯での無電柱化優先道路

この時間帯における無電柱化優先道路は**図-9** 左側に示す通りであり，合計 53 基の電柱を取り除くことができる結果となった．これより，対象地域西側の「字大川」から浸水想定区域外に避難する経路の優先度が高くなっている．これは，この時間帯では観光客はホテル（一時避難ビル）で就寝していることを想定していることから，住宅地が並んでいる地域からの避難経路として無電柱化優先度が高くなったことが考えられる．

b)　昼（12 時台）の時間帯での無電柱化優先道路

この時間帯における無電柱化優先道路は**図-9** 中央に示す通りであり，合計 45 基の電柱を取り除くことができ

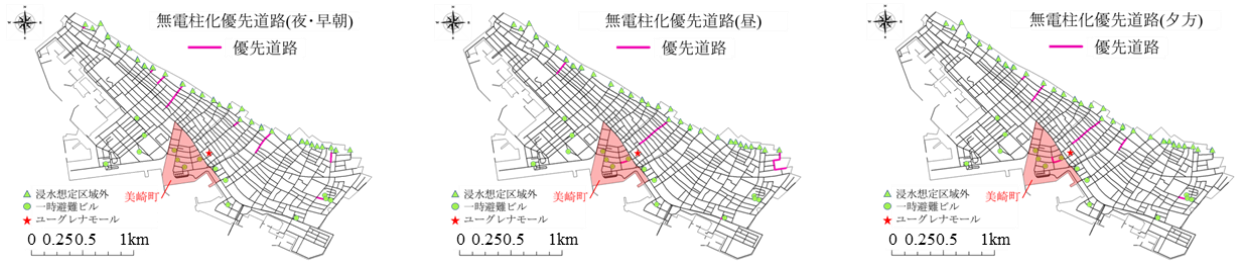


図-9　時間帯（左：夜・早朝，中央：昼，右：夕方）別無電柱化優先道路

る結果となった．この時間帯では浸水想定区域外に繋がる経路に加え，「美崎町」付近にある一時避難ビルへ向かう経路も対象となった．**図-7** に示す住民と観光客の分布図をみてもわかるように，「美崎町」からの避難経路としての無電柱化優先度が高くなったことが考えられる．

c)　夕方（19 時台）の時間帯での無電柱化優先道路

この時間帯における無電柱化優先道路は**図-9** 右側に示す通りであり，合計 53 基の電柱を取り除くことができる結果となった．この時間帯は昼の時間帯と同じ傾向にあり，「美崎町」や「ユーグレナモール」付近が対象となっている．これらの地域には土産店だけでなく飲食店も多く並ぶことから，これらの地域から一時避難ビルや浸水想定区域外に繋がる経路を通る人数が多くなるため，避難路としての重要性が高くなったことが考えられる．

(3)　全時間帯における無電柱化優先道路

4.(2)で示した各時間帯における無電柱化優先道路の空間的な重なり具合を示したものを**図-10** に示す．「ユーグレナモール」から津波浸水想定区域外へ繋がる市街地中央の優先道路は，石垣島道路啓開計画[注19)]の第 1 次優先啓開ルートにも指定されている．市街地の道路のほとんどは道路幅員が電柱の長さよりも短い．そのため，電柱が倒壊することにより緊急車両が走行不可となる場合や避難者が迂回しなくてはならない場合がある．円滑な避難・救助活動を行うためには，これらの経路は避難経路の重要性という観点から見たとき，優先的に無電柱化整備を行うべきであると考える．

5.　おわりに

本研究では，沖縄県石垣市市街地を対象に，津波避難シミュレーションにより住民と観光客の避難行動を分析し，避難路としての重要性の観点から無電柱化整備を行う優先順位を決定する手法の構築として先行研究 [4),5)]を踏まえ，発展させたものである．本研究の成果と今後の課題について以下にまとめる．

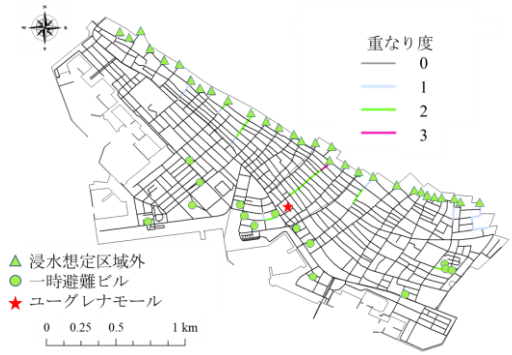


図-10　無電柱化優先道路の重なり度

(1)　本研究の成果

本研究では，避難経路の重要性という観点から無電柱化整備の距離制約下における無電柱化優先度の考え方を提案し，沖縄県石垣市市街地に適用した．その結果，住民と観光客の避難行動分析より，3 つの時間帯において優先的に無電柱化すべき経路を明らかにすることができた．また，どの時間帯においても一時避難ビル及び浸水想定区域外に隣接する経路の通過人数が多いことから，無電柱化優先度が高くなったことを明らかにした．

(2)　今後の課題

今後は，全ての時間帯における津波避難シミュレーションを実施し，全ての時間帯での優先的に無電柱化すべき道路を明らかにしていく．また，住民の声かけ率を変化させたパターン等，避難行動を変化させたシミュレーションを実施した場合に，どの避難経路が重要となるのかを明らかにしていく．

景観や交通安全の観点を加え，総合的な優先度決定方法へと展開していく予定である．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP21K12483，JP22H00222，JP23H00197 の助成を受けたものです．また，琉球大学学生（当時）の小谷卓駆氏には，シミュレーション結果の整理や電柱計測調査等，研究の遂行にあたり多大なるご支援を頂戴した．ここに記して感謝の意を示したい．

NOTES

注1) 国土交通省：無電柱の現状，https://www.

mlit.go.jp/road/ir/ir-council/chicyuka/pdf03/09.pdf，2017.（2023 年 3 月 17 日閲覧）
注2) 国土交通省：無電柱化推進計画，2021.
注3) 国土交通省：既設電柱の占用制限に向けた取組について，https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/chicyuka/pdf16/08.pdf，2023.（2023 年 3 月 17 日閲覧）
注4) 沖縄県：沖縄県津波浸水想定について，https://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/kaibo/h27tunami/h27tunami_a.html，2015.（2021 年 7 月 22 日閲覧）
注5) JTB 総合研究所：観光地と無電柱化，https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/chicyuka/pdf02/05.pdf，2017.（2021 年 7 月 22 日閲覧）
注6) 国土交通省東北地方整備局道路部：無電柱化の現状，https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/den-chu/htdocs/genjou/collapse-situation1.html.（2021 年 5 月 22 日閲覧）
注7) 沖縄県：沖縄県無電柱化推進計画，2022.
注8) 沖縄県：沖縄県津波浸水想定設定検討委員会，2015.
注9) ESRI ジャパン株式会社：ArcGIS Field Maps，https://www.esrij.com/products/arcgis-field-maps/.（2023 年 9 月 22 日閲覧）
注10) 石垣市：地域防災計画（資料編），2018.
注11) 総務省統計局：国勢調査，2015.
注12) 株式会社ゼンリン：建物ポイントデータ，2021.
注13) 国土交通省：住生活基本計画，https://www.mlit.go.jp/common/001392041.pdf，2016.
注14) 総務省統計局：経済センサス活動調査，2014.
注15) 株式会社ブログウォッチャー：Odekake Labo おでかけ研究所，https://www.blogwatcher.co.jp/odekake-lab/，（2022 年 12 月 16 日閲覧）
注16) 石垣市：石垣市宿泊施設一覧（八重山保健所管内），2010.
注17) 石垣市：石垣市保育施設一覧，2020.
注18) 石垣市：石垣市立小中学校学級数，児童生徒数，2020.
注19) 内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会，2011.
注20) 国土交通省：津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について（第 3 版），https://www.mlit.go.jp/common/000233464.pdf，2013.（2021 年 5 月 22 日閲覧）
注21) 沖縄県：石垣島道路啓開計画，2020.

REFERENCES

1) 大庭哲治，神谷大介：政策実務の観点からみた無電柱化の研究動向と将来展望，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.64，2021.［Oba, T. and Kamiya, D.: RESEARCH TRENDS AND FUTURE PERSPECTIVE FOR THE UNDERGROUNDING AND UTILITY POLE REMOVAL PROJECTS FROM THE PERSPECTIVE OF POLICY PRACTICE, *Proceedings of Infrastructure Planning*, Vol.64, 2021.］
2) 新垣綸香，神谷大介，町田宗瞭：住民と観光客の滞留人口から見た避難支援の課題と支援方策，令和 4 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2023.［Arakaki, R. Kamiya, D. and Machida, T.: Evacuation support issues and support measures from the perspective of resident and tourist staying population, *Japan Society of Engineers - west*, 2023.］
3) 福井美穂，大江靖雄：震災被災地における観光入込客数の回復過程－都市・農村・離島地域の比較から－，農林業問題研究，Vol.49，No.1，pp.42-46，2013.［Fukui, M. and Ohe, Y.: Evaluating the Tourism Recovery Process in Areas Affected by Seismic Disasters: Comparisons among Urban, Mountainous, and Remote Island Areas, *Journal of Rural Problems*, Vol.49, No.1, pp.42-46, 2013.］
4) 小谷卓駆，神谷大介：観光客を対象とした津波避難支援の課題と対応策に関する一考察，令和 3 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2022.［Kotani, T. and Kamiya, D.: A Consideration on Tsunami Evacuation Assistance for Tourists and its Countermeasures, *Japan Society of Engineers - west*, 2022.］
5) 上地安諄，神谷大介，大庭哲治，小谷卓駆，上間大輔，新垣綸香：津波避難路からみた無電柱化優先度に関する基礎的研究，令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会講演概要集，Vol.78，2023.［Uechi, A. Kamiya, D. Oba, T. Kotani, T. Uema, D. and Arakaki, R.: Fundamental Study on the Priority of Undergrounding and Utility pole Removal Projects from the Perspective of Tsunami Evacuation Route, *Japan Society of Civil Engineers 2023 Annual Meeting*, Vol.78, 2023.］

(Received ?)
(Accepted ?)

STUDY ON THE UNDERGROUNDING AND UTILITY POLE REMOVAL PROJECTS IN COASTAL SIGHTSEEING REGION FROM THE PERSPECTIVE OF TSUNAMI EVACUATION

Daisuke KAMIYA, Atsushi UECHI and Tetsuharu OBA

Although there has been much discussion on the necessity of promoting the installation of utility poles, there are issues on how to determine the order of priority. In addition, while the use of utility poles has been discussed from the viewpoints of landscape, traffic safety, and disaster prevention, not many studies have been conducted from the viewpoint of disaster prevention. As for disaster prevention, there have been only discussions on the installation of utility poles along emergency transportation roads from the viewpoint of removing obstacles in disaster recovery.

In this study, the priority of the installation of utility pole-free roads was examined from the viewpoint of their importance as evacuation routes based on the analysis of evacuation behavior of residents and tourists in the urban area of Ishigaki City, which is at risk of tsunami disaster.