

地理情報システムを用いた津波避難計画の避難時間の可視化と 関連施設の配置計画

○吉川優矢*¹ 大山智基*¹ 山田悟史*²

キーワード：GIS，避難計画，可視化，評価，配置計画，津波

1. はじめに

現在、津波に対する避難計画に関する取り組みが数多く行われている^{1)~4)}。領域横断的に被災時の多様な要素を加味した再現度の高い避難計画が望まれるが、困難な側面もあり、東日本大震災では、避難計画が十分に機能しなかった報告も挙げられている。つまり、災害時に有効な避難計画の構築とは、客観的妥当性の精度と同様に、構築した避難計画の分かり易さが重要であると言える。この観点における分かり易さには、避難計画及びその過程を視覚的に認識出来ること、避難計画の根拠となる仕組みを理解出来ること等が挙げられる。避難計画を把握出来る視覚的情報によって提示された避難計画の評価は、避難計画の妥当性と改善に関する取り組みを促進し得ると考えられる。

このような考え方に関わる取り組みとして、東日本大震災以降に羽鳥らを主とする日建設計震災復興ボランティア部「逃げ地図チーム」が制作を続けている「逃げ地図」⁵⁾がある。逃げ地図では住民参加型のワークショップを行い、手計算により道路の任意の地点から避難場所までの道路ネットワーク距離を歩行速度で除すという単純な方法で避難時間を可視化している。これは、誰もが理解出来る単純な方法かつ手作業を採用することで参加者自身のアクティブラーニングを促し、現状の避難時間に対する認知度を向上させる有用な取り組みであると考えられる。本研究も、このような視点に着目した避難計画の立案と定着の取り組みに属すると考えるが、本稿では後述する三つの主な理由からGIS(地理情報システム)を用いて避難時間の算出を行う。一つ目は、アクティブラーニング上は手計算が望ましいが、現状の問題や改善点に対する方策を検討するためには、方策毎に複数回の視覚化を行う必要があり、手作業で避難時間を毎回可視化するのは時間効率の負担が大きくなることである。二つ目は、客観的評価としては、各方策の効果を避難時間・面積・建物数・人口などの指標から定量的に明示する必要があることである。三つ目は、GISを用いることで新しい避難施設の設置を想定したシミュレーションの効果を視覚化出来ることである。GISを用いた都市計画の支援について筆者らは道路ネットワークの距離を基に救急医療業務における運用効果の可視化による関連施設の適正配置⁶⁾を行っている。また前述3項目をふまえ、青森県おいらせ町の津波避難計画の立案⁷⁾も行っている。本稿ではこれ

らの手法を応用し、和歌山県和歌山市を対象に津波に対する避難計画の評価と提案を行う。

2. 避難計画評価システムの概要

和歌山市は、南海トラフ巨大地震の被害想定地に含まれており、和歌山県から津波浸水想定図や津波到達時間等の被害想定が発表されている。本研究はこの被害想定を基に、現在和歌山市で実施されている避難計画の評価と提案を行う。評価においては、予測浸水域外である最寄りの高地への避難のみを想定した場合(case1)の避難時間と、和歌山市が指定する避難ビル等への避難も含めた場合(case2)の避難時間を可視化し、定量的な評価と避難困難地域^{注1)}を抽出する。また、和歌山市においては、避難時間が第一波津波到達予測時間の40分以上となる地域が対象である。そして、避難困難地域が確認された場合は、避難施設配置による避難時間の短縮を提案する。

3. 避難時間分布地図・シミュレーションの評価

・最寄り一次避難場所までの避難時間分布地図

避難時間分布地図は、各地点から最寄り一次避難場所^{注2)}までの避難時間を網羅的に示す地図である。地図の目的は速やかな対策が求められる避難困難地域の把握と、それに対する計画案の効果の定量的な検証及び視覚的な共有である。避難時間の算出方法は、任意地点から最寄り一次避難場所までの最短経路距離を歩行速度で除する単純な方式とし、関わる設定についても、避難速度は一律の0.5m/s、避難開始は全時点同時、人の流入に拠る混在を加味しない、とした^{注3)}。避難開始地点は50mメッシュの中心点とし、メッシュ内に複数の道路がある場合は中心点から最も近い道路を用いて避難する設定とした。避難先である一次避難場所は浸水予想域⁸⁾の境界と道路の交点とした。道路ネットワークは北海道地図 GISmap for Roadを基調とし格納されていない道路については、ZmapTown IIの道路形状を参考に補った。以上の設定により避難時間をグラデーション状に地図に可視化した。この際の最大値は避難困難地域を把握するために平成25年3月に和歌山県が発表した津波第一波到達時間の40分⁹⁾とした。また、解析に使用したデータ一覧を表1に示す。

・避難施設における避難者推計人口

最寄り津波避難ビルへの避難者推計人口を算出する。

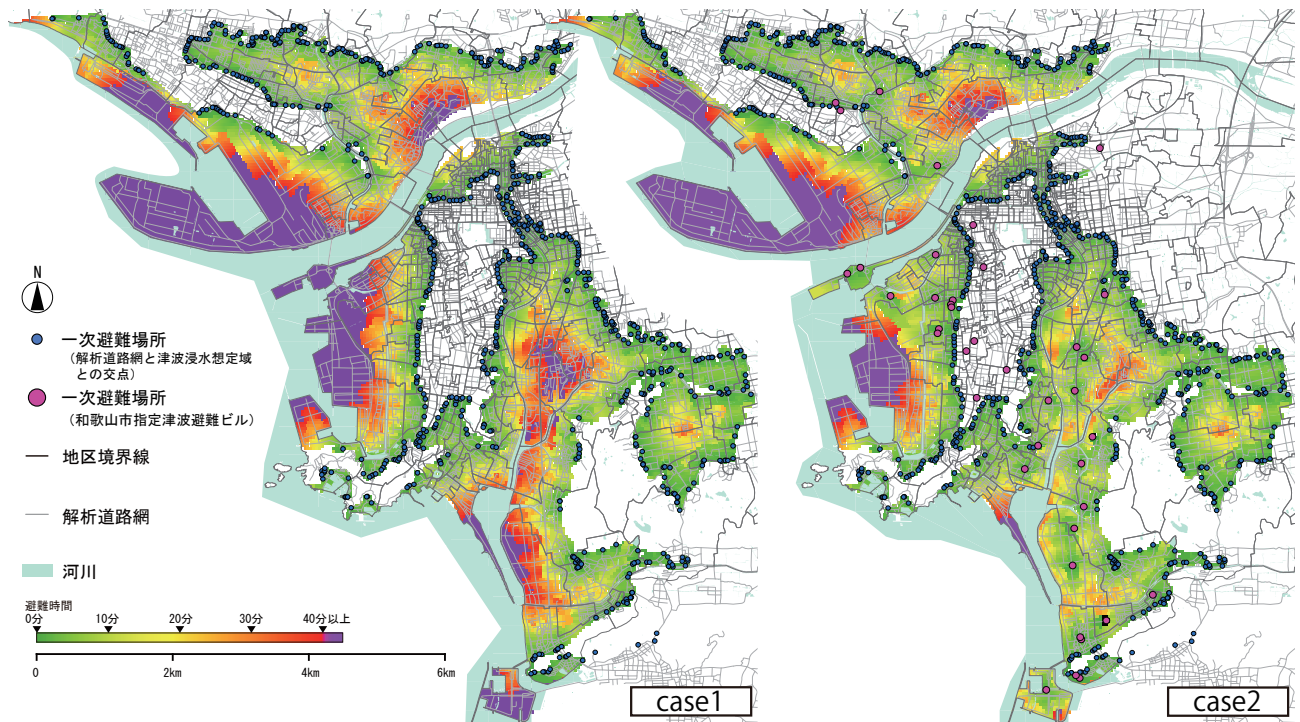


図1 case1 と case2 の避難時間分布地図

表1 解析データ構成一覧

項目	使用データ
道路中心線	GIS map for Road より取得
津波浸水想定域	H25年3月 和歌山県発表資料を使用
津波到達時間	H25年3月 和歌山県発表資料を使用
解析メッシュ	1辺 50m の正方形メッシュ 総数18539メッシュ
一次避難場所	道路中心線と浸水域の交点 832箇所
津波避難ビル	和歌山市役所指定 40箇所
建物形状	Zmap Town II を使用
行政海面	H22年 統計局国勢調査
人口	H22年 統計局国勢調査

表2 避難時間における case1 と case2 との比較

	case 1	case 2
避難時間の合計値(分)	503748.29	401504.26
平均避難時間(分)	27.17	21.66
40分以上のメッシュ数	3515	2333
40分以上の建物数	4716	1643
40分以上の推計人口	7110.72	2636.67

建物データは zmapTown II を使い、人口データは h22 年国勢調査を使用した。これらより、各地区の人口を基に各地区毎に建物 1㎡ 当りの人口を算出し、建物床面積により建物一軒当たりの人口を属性データに格納する。GIS を用いて、浸水域内の各建物から一次避難場所までの、最寄り施設の検出を行い、最寄り一次避難場所が同一である建物を抽出し、その数の和より各津波避難ビルにおける推計人口を算出する。

・避難施設配置シミュレーション (case3)

把握した避難困難地域をなくすための提案である。具体的には、避難時間を短縮するための避難施設（避難ビル・避難タワー等あるが本稿では予測津波浸水深さ以上の建造物とする）の配置シミュレーションである。本稿では、避難目標時間が 40 分であることから、全ての地点の避難時間が 40 分以内となるまで津波避難ビルの配置を行

表3 case2 における避難ビルの避難者推計人口

名称	避難者推計人口	最寄り建物戸数	最寄りメッシュ数
833 和歌山県直科医師会館	735.84	560	114
834 オークワ 大浦街道店	670.43	154	47
835 市営湊菜種畑団地	1855.08	1321	569
836 青岸エネルギーセンター	591.16	801	1269
837 青岸クリーンセンター	36.52	83	102
838 湊御殿第2団地	2033.19	1129	188
839 市営東長町団地	0.00	0	0
840 湊バーンナルヴィラ	576.77	404	145
841 近畿財務局和歌山合同庁舎1～3号棟	465.15	253	33
842 近畿財務局和歌山合同庁舎1～3号棟	60.65	49	8
843 近畿財務局和歌山合同庁舎1～3号棟	90.09	56	11
844 ライオンズマンション和歌山塩屋	1205.79	558	134
845 県営住宅西浜団地	0.00	0	0
846 Nビル バレスNAKASHIMA	1527.69	1102	148
847 グリーンフル小難賀	1785.87	1051	197
848 ビッグ愛	1408.22	1007	103
849 オークワ教育研修センター	3743.13	1879	275
850 和歌川苑	562.95	268	32
851 インベリアル和歌浦	2705.79	1359	280
852 和歌山県子ども・女性・障害者相談センター	98.70	13	9
853 琴の浦ハビリテーションセンター	94.26	7	8
854 紀三井寺陸上競技場	343.39	166	79
855 中央終末処理場	378.66	151	27
856 紀三井寺苑	572.15	234	155
857 紀州技研工業株式会社	1213.97	551	275
858 ファナシオン毛見	458.33	228	48
859 ファナシオン毛見Ⅱ	717.98	413	88
860 ロイヤルバインズホテル	289.12	107	293
861 紀三井寺ガーデンホテルはやし	1995.61	542	181
862 雇用促進住宅	536.09	301	68
863 ローバス三葛	2177.80	999	293
864 県営住宅雄湊団地	0.00	0	0
865 マスターズエル延時	1672.81	757	131
866 インベリアル高松	0.00	0	0
867 市営北島団地	3736.03	2147	296
868 市営ラフリー松江	1127.06	419	61
869 県営東松江住宅	105.18	31	5
870 県営今福第一団地	0.00	0	0
871 県営今福第二団地1号棟	0.00	0	0
872 西日本旅客鉄道株式会社 和歌山駅	0.00	0	0

った。手順としては、まず最も避難時間が長い地点の避難時間が 40 分以内となることを条件に出来るだけ内陸側交差点に配置した。次に、新たな避難施設を配置した場合でも避難困難地域となる地点を基準に同じ操作を行い、避難困難地域がなくなるまで避難施設の配置を繰り返した。なお避難施設の配置箇所は道路上とした。

4. 避難計画の評価

現状の避難計画評価

図1は、case1 と case2 の避難時間分布地図であり、表

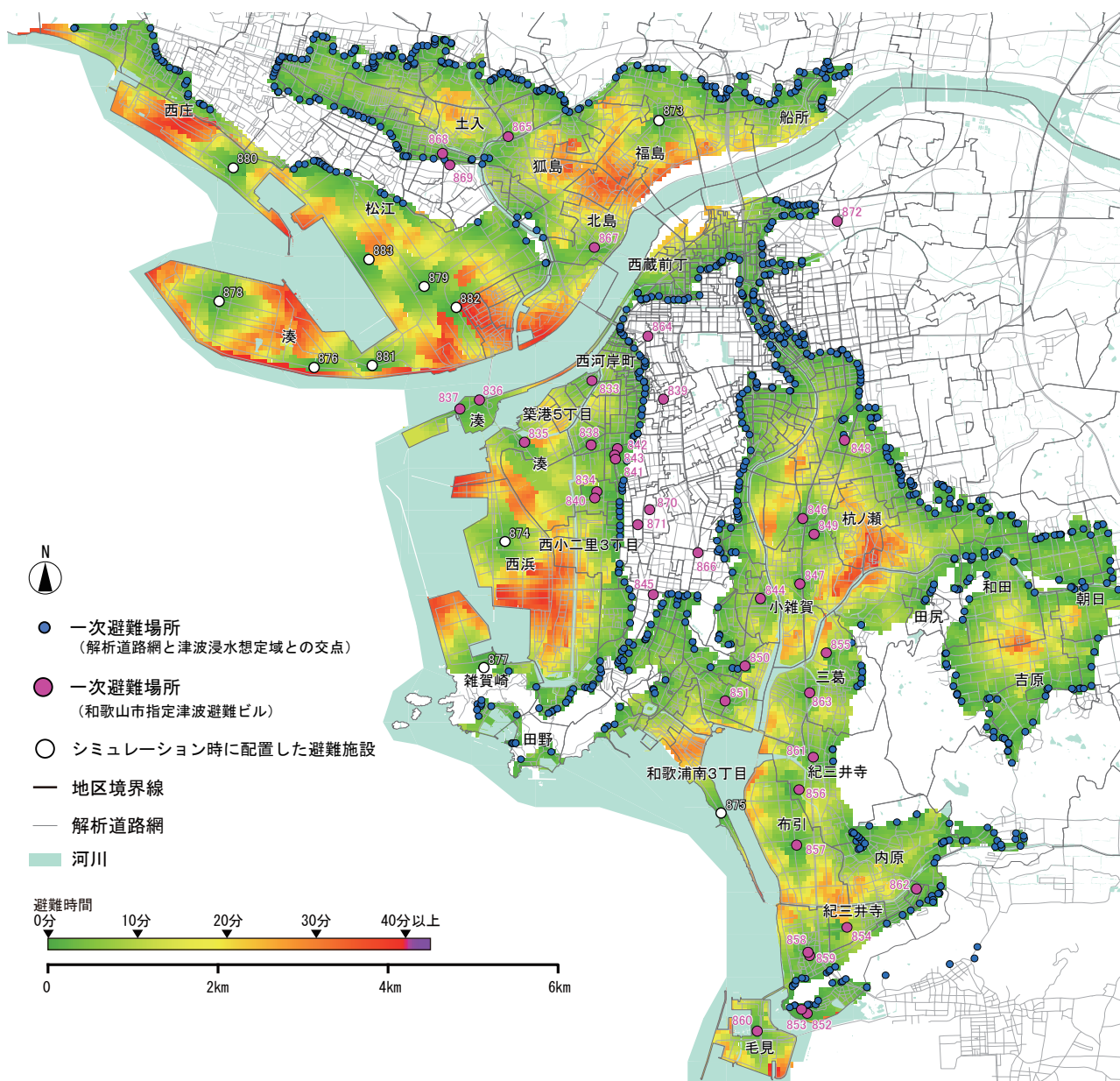


図2 case3 の避難時間分布地図

表4 各 case 毎の避難時間上の効果

	case 1	case 2	case 3
避難時間の合計値(分)	503748.29	401504.26	248197.64
平均避難時間(分)	27.17	21.66	13.39
短縮時間の合計(分)		-102244.04	-153306.62
短縮時間が生じたメッシュ数		5672.00	3255.00
平均短縮時間(分)		-18.03	-47.10
40分以上のメッシュ数	3515	2333	0
40分以上の建物数	4716	1643	0
40分以上の推計人口	7110.72	2636.67	0

2はその定量値を示したものである。避難時間分布地図は、0秒を最小値にとり60秒間隔で刻み、最大値40分としそれ以上の地点は全て紫色とした。図1から、避難困難地域が海側に多く分布している事がわかり、浸水域の平均避難時間は、27.17分で、40分以上のメッシュは3515メッシュとなっている。図1より、case1とcase2の避難時間分布地図を比較すると、浸水域内の内陸部が緑色に変化しており、特に杭ノ瀬においては、40分以内に避難の完了を終えている。避難ビルを配置する事で、平均避難時間は5.51分短縮し、40分以上の地点が1182

メッシュ減少した。40分以内に避難完了していない避難者推計人口として2636人となったが、case1と比較すると4474人減少している。表3は、case2における各津波避難ビルへの避難者推計人口をまとめたものである。避難時間を短縮した範囲が広いビルとして、青岸エネルギーセンター1269メッシュ、市営湊薬種畑団地569メッシュが挙げられる。オークワ教育研修センターと市営北島団地に関しては、避難者推計人口約3700人であり、配置した避難ビルの中でも、最寄りとなる避難者推計人口が高い事がわかる。これは、津波避難ビルの避難容量を越える避難推計人口の把握が出来る等、避難施設における避難容量に関する資料の一つと考える。またインペリアル高松、青岸クリーンセンターのように効果がない施設があるが、これは避難地点からの最寄り一次避難場所として、避難ビルが選択されていない事が原因である。

表5 目標地点を設定後(case6)の避難時間分布地図

No.	避難者推計人口	最寄り建物戸数	短縮時間の合計(分)	短縮時間が生じたメッシュ数	平均短縮時間(分)
873	4846.16	2460	4626.42	322	14.37
874	1905.13	494	14740.26	551	26.75
875	325.58	187	5607.78	146	38.41
876	2.48	24	15666.56	211	74.25
877	503.17	49	3109.29	226	13.76
878	0.11	5	65704.58	518	126.84
879	147.75	390	7893.78	327	24.14
880	30.32	183	9493.61	319	29.76
881	26.67	226	16443.15	266	61.82
882	117.31	212	3704.74	207	17.90
883	7.32	74	6316.44	162	38.99

表6 case3における避難ビルの避難者推計人口

No.	名称	避難者推計人口 差	最寄り建物戸数 差	最寄りメッシュ数 差
835	市営湊薬種畑団地	785.15	1069.92	1014 307 263 306
836	青岸エネルギーセンター	527.07	64.09	440 361 162 1107
851	インベリアル和歌浦	2577.70	128.09	1305 54 171 109
867	市営北島団地	3021.16	714.87	1736 411 246 50

避難施設配置シミュレーション後の避難計画評価

case2で抽出した避難困難地域に、新たに避難施設を配置し、避難シミュレーションを行った避難時間分布地図を図2に示す。表4は、その定量値と各caseとの比較をまとめたものである。避難困難地域を無くすために、計11地点に避難施設を配置した。図2より、浸水域全体に避難困難地域を示す地点が無く、避難困難地域の割合が多かった西庄、湊、西浜が顕著に改善された事がわかる。また表4から、平均避難時間が13.39分となっており、8.27分短縮している。短縮時間が生じたメッシュは、3255メッシュとなり、平均短縮時間は、47.10分となった。湊においては、同地区に計5箇所の避難施設を配置する事で、避難困難地域が無くなった。表5は、シミュレーション時に配置した避難施設における避難者推計人口をまとめたものである。避難時間を短縮した効果が最も高い避難施設として、878番、短縮効果が最も広い範囲に効果があった避難施設として874番が挙げられる。878番に関しては、短縮時間が生じたメッシュ518メッシュ、平均短縮時間126.84分となり、874番に関しては、短縮時間が生じたメッシュ551メッシュ、平均短縮時間26.75分となった。また、避難者推計人口が最も多かった避難施設は4846.16人の873番の避難施設であった。また表6は、避難施設を配置することにより、case2からcase3で、避難者推計人口が変化した避難ビルの一覧である。避難者推計人口で、最も変化が生じたのは、市営北島団地の1069.92人で、最寄り建物戸数で最も変化が生じたのは、市営北島団地の411件で、最寄りメッシュ数で最も変化が生じたのは、青岸エネルギーセンターの1107メッシュであった。

5. まとめ

本稿では、以上のように避難時間分布図を用いて避難計画の評価を行った。また、和歌山市において現在実施されている避難計画の現状(case2)を定量的に評価した。加えて、避難施設の配置シミュレーション(case3)を行い、避難時間の短縮効果を検証した。避難施設配置シミュレーションで、最も避難困難地域であった湊において

は、避難ビル・避難タワーの設置が有効であると考えられ、現在の避難計画の検証が必要である。また、シミュレーションの結果、No.878, No.881の避難施設配置が、避難時間の短縮に有効である事がわかった。また、津波発生時には、大規模な地震が発生すると考えられ、その際、建物倒壊により道路閉塞が発生する恐れがある。今後、道路閉塞を考慮し、築年数・道路幅員の要素を加味する必要がある。また、避難速度においては一律としたが、階段・坂道等の起伏を考慮する事も重要と考える。配置シミュレーションにおいては、避難困難地域のみでの避難時間短縮が好ましいが、避難施設の配置により内陸部の避難困難地域外から、最寄り一次避難場所として選択されている場合がある。今後、避難困難地域内のみを対象とした手法を構築する必要がある。また、避難者推計人口の算出においては、常住人口のみ加味しており、湊や雑賀崎の工場地帯においては、非常住人口を加味し避難者推計人口の算出を行う事が課題である。

謝辞

本研究で用いたデータの一部は、東京大学空間情報科学センターとの共同研究「地理空間情報を用いた避難施設及び避難経路の計画手法に関する研究」として借用した物である。記して謝意を表する。

注

- 注1) 予想津波到達時間以内に浸水予想範囲外に避難することが困難な地域
 注2) 命を守るためにまず逃げる場所、生活機能は求められていない。一次避難場所にて津波が引くのを待ちその後避難施設に向かうことになる。
 注3) 一律の速度については、内閣府の発表資料10)では1m/sとなっており、他の研究でも様々な値が用いられているが、地形に起伏があることと高齢者に配慮した値が求められたため、内閣府発表資料の半分値となる0.5m/sとした。

参考文献

- 藤岡 正樹, 石橋 健一, 梶 秀樹, 塚越 功: 津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価, 日本建築学会計画系論文集(562), pp.231-236, 2002.12, 日本建築学会
- 渡辺 公次郎, 近藤 光男: 津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会計画系論文集74(637), pp.627-634, 2009.03, 日本建築学会
- 村上正浩, 他9名: 住民・自治体協働による防災活動を支援する情報収集・共有システムの開発, 日本地震工学会論文集第9巻, 第2号, pp200-222, (特集号)2009. 日本地震工学会
- 鈴木 猛康, 秦 康範, 佐々木 邦明, 大山 勲: 住民・行政協働による減災活動を支援する情報共有システムの開発と適用, 災害情報, No.9, pp.46-59, 2011
- 逃げ地図HP <http://www.nigechizuproject.com/>
- ドクターヘリ運用効果の可視化と関連施設の配置計画に関する研究－医療行為開始までの短縮時間と救命率の向上率及び人口を用いた検証－, 日本建築学会計画系論文集, 第78巻, 第692号, pp.2163-2172, 2013.10, 日本建築学会
- GISを用いた津波災害に対する避難計画の作成支援手法－避難地図の作成と一次避難場所・避難施設及び避難経路の配置計画－, 東日本大震災2周年シンポジウム, 一般公募(口頭発表), pp.265-270, 2012.3, 日本建築学会
- 和歌山県津波浸水想定図, 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会, 2013.3
- 「南海トラフの巨大地震」及び「東海・東南海・南海・3連動地震」による津波浸水想定について, 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会, 2013
- 津波避難ビル等に関わるガイドライン, 津波ビル等に関わるガイドライン検討会 内閣府政策統括官(防災担当), 2005.6

- *1 立命館大学大学院 環境都市専攻 博士前期課程 学士(工学)
 *2 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科, 助教, 博士(工学)