

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15266

研究課題名（和文）確率論的浸水評価を考慮したバッファゾーン設定に関する研究

研究課題名（英文）Study on tsunami buffer zone setting considering probabilistic tsunami hazard assessment

研究代表者

福谷 陽（Fukutani, Yo）

関東学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：10785322

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：津波浸水想定区域の不確実性を表すバッファゾーン設定の現状調査では、全国の沿岸自治体での事例をヒアリング、アンケートにより調査した結果、浸水想定区域外側の町丁目界まで、という事例が最多であり、その他、浸水想定区域外側の幹線道路・主要道路まで、一定の標高、一定の津波高、河川沿い、過去の津波浸水領域、津波浸水想定区域の端からの距離、等があった。また、相模トラフ巨大地震の不確実性を考慮した津波浸水分布を対象に、固有直交分解やロジックツリーアプローチの技術を用いた新たな確率論的津波浸水評価の手法を構築し、地震の発生確率を適用することで、再現期間500年、1000年等の確率規模毎の津波浸水深分布を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地域住民の津波からの避難を考えるうえで重要となる津波浸水想定区域の不確実性を表すバッファゾーンは、各市町村が津波ハザードマップ作成時に記載できるが、作成基準が無いのが現状である。市町村は、地域の特性に応じた独自の設定基準に加え、本研究で整理した他自治体の例を参考にして設定することが可能となる。また、提案した確率論的津波浸水評価手法を用いることで、再現期間別の津波浸水区域の作成やこれを基にした不確実性を考慮したハザードマップのバッファゾーン設定が可能であり、市町村が要避難対象区域を設定する際の一手法として利用されることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In the survey on the current status of buffer zone setting, which represents the uncertainty of the expected tsunami inundation area, we investigated cases in coastal municipalities across Japan through interviews and questionnaires. Many municipalities set it up to the boundary of towns outside the expected tsunami inundation area, and others set the buffer zone up to arterial roads or major roads outside the expected tsunami inundation area, a certain elevation, a certain tsunami height, along rivers, past tsunami inundation areas, and distance from the edge of the expected tsunami inundation area. We also developed a new probabilistic hazard assessment method for tsunami inundation area considering the uncertainty of the Sagami Trough megathrust earthquake, using the proper orthogonal decomposition and logic tree approach, and finally obtained tsunami inundation area for each return periods such as 500-years and 1000-years by applying the probability of earthquake occurrence.

研究分野：土木工学、海岸工学

キーワード：津波 ハザードマップ バッファゾーン 確率論的津波ハザード評価 再現期間 ハザードの不確実性 要避難対象区域

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

2011年12月に制定された津波防災地域づくりに関する法律では、都道府県知事は、津波浸水想定を公表し、津波による人的災害を防止するために警戒避難体制を特に整備すべき土地の区域を、津波災害警戒区域として任意で指定することができる、と定めている。津波災害警戒区域を指定することで、区域を含む市町村ではハザードマップの作成や避難訓練の実施、避難場所や避難路の確保等が義務付けられるなど、避難体制の整備が促進されることが期待されている。市町村は、住民避難の対象となる要避難対象区域を、都道府県が公表する津波浸水想定（津波災害警戒区域）の範囲として設定することが基本ではあるものの、内閣府や国交省は、地域の実状に留意して安全側となるように、津波浸水想定区域の外側に、予測の不確実性を考慮したバッファゾーンを設定することが重要、としている。バッファゾーンとは、浸水予測計算上は浸水しないが、予測の不確実性を考慮すると浸水の恐れのある区域、と定義され、要避難対象区域を指定するうえで重要な概念である（図1参照）。しかしながら、この予測の不確実性をどのように考慮して、バッファゾーンを指定するべきかについては、一律の標高・幹線道路・町丁目界により設定するという一例の提示（内閣府・国交省、2004）を除いて、市町村が実施すべき具体的な設定手法が明示されているわけではない。幾つかの市町村ではバッファゾーンを指定しているものの、他の多数の市町村では、バッファゾーンを含む不確実性を考慮したハザードマップを作成していない。バッファゾーンを指定している市町村においても、明確な基準や前例が乏しいまま指定しているため、市町村間で設定手法の相違があることも懸念される。また、一例として提示されている一律の標高・幹線道路・町丁目界による設定は、単なる一定の境界による線引きであって、浸水想定予測誤差を考慮している訳ではなく、今後、浸水想定具体的な予測誤差を、公表されている断層モデル設定の不確実性の観点から検討する必要があると考えられる。2011年に発生した東北地方太平洋沖津波においては、それまで想定されていた浸水想定区域を大きく超える地域が浸水している。本研究で、予測の不確実性を明示するために重要なバッファゾーンの設定手法に関する知見・基本的考え方を提示することは、社会的意義が非常に大きい。

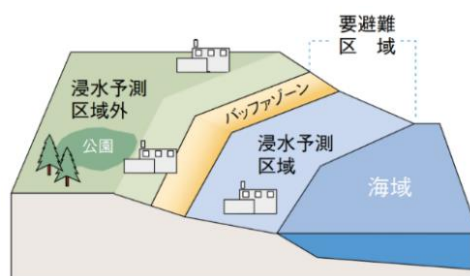


図1 バッファゾーンの概念図
（国土交通省：津波・高潮ハザードマップマニュアルの概要、2004）

2. 研究の目的

本研究では、現状の市町村におけるバッファゾーン設定の事例調査、数値計算の不確実性を考慮した確率論的津波ハザード評価を通じて、要避難対象区域設定時に考慮すべきハザードマップにおける予測不確実性の適切な設定手法の基本的考え方を提示することを目的とした。この目的を達成するため、大きく分けて以下の2つの研究を実施した。

- ① ハザードマップにおけるバッファゾーン設定の現状調査と課題
- ② 確率論的津波浸水域評価とバッファゾーン設定に関する研究

3. 研究の方法

2. ①と②の研究それぞれについて記す。

①では、国内の市町村におけるバッファゾーン設定の具体事例を、アンケート・ヒアリング・ネット検索を用いて網羅的に調査する。また、現状のバッファゾーンの指針である標高・幹線道路・町丁目界等による設定は単に、現地における一定の境界による線引きであるため、既公表の断層モデルパラメータ（すべり量・すべり角・走行・深さ等）を変化させることで、数値計算の不確実性を考慮した津波浸水域評価を実施し、公表されている浸水想定区域がどの程度変化するか、また、現状のバッファゾーンの設定区域とどの程度乖離するか等を、断層モデル設定の不確実性の観点から考察した。最後に、上記の調査研究結果を踏まえ、バッファゾーン設定時の参考となる知見・基本的考え方を提示した。②では、これまで提案されてきた応答曲面法を用いた手法に加え、津波浸水分布に対して固有直交分解（Proper Orthogonal Decomposition: POD）を適用することで、浸水分布の空間構造をモードに分解して、それらを線形結合することで、確率論的津波浸水分布を評価した。この手法は、各種の不確実性を効率的に取り込めるため、ハザードマップのバッファゾーンを設定するための手法となり得る。

4. 研究成果

2. ①と②の研究それぞれについて記す。

①ではまず、国土交通省のハザードマップポータルサイトを使用し、全国の市町村を対象として、津波ハザードマップを調査した。結果、全国1741市町村のうち、津波ハザードマップを公表していたのは、634市町村であった。この内、海に面しているのは621市町村、海に面してい

ないのは 13 市町村であった。海に面している 621 市町村のうち、①津波浸水想定の不確実性をバッファゾーンと明記して記載しているのは 16 市町村、②バッファゾーンと明記は無いものの津波避難の判断のための各種指標を明記しているのは 598 市町村、③市町村のハザードマップにはバッファゾーンと明記は無いが、都道府県の浸水予測図に記載されているバッファゾーンを援用しているのは、7 市町村であった。これら網羅的な事例調査により、自治体で設定されているハザードマップのバッファゾーンは、複数の設定手法があることが分かった。これら設定手法を簡潔に整理したものを表 1 に示す。

バッファゾーンの設定方法は、地域の地理条件から設定する方法と人工物や過去の記録等から設定する方法の大きく 2 つに分類することが出来る。詳細には、標高、河川・湖沼沿い、集落境界部の林、田畑、幹線道路、町丁目界、用水路、過去から伝わる言い伝え等を基準にして設定されていた。国土交通省（参考文献①）が示した設定方法の例では、標高、幹線道路、町丁目界の基準だけであったが、実際には、表 1 で整理したように多岐にわたる設定方法が存在することが改めて分かった。

また、例えば、町丁目界や河川に沿ったバッファゾーンの事例を見ると、想定浸水域からどの程度離れた場所まで線引きするかについては、自治体により区々であることも事例調査により明らかとなった。ハザードマップに記載されるバッファゾーンは、住民の要避難対象地域を決定するうえで重要な概念であり、各自治体の個別具体的な状況を考慮した独自基準による設定に加えて、設定方法の見落としが無いよう、表 1 で示した他自治体の具体事例も参考に、十分に検討を重ねて決定していく必要があると考えられる。次に、神奈川県平塚市を対象として、地震断層のパラメータの不確定性の観点から考察した。津波ハザードマップの作成で想定されている相模トラフ沿いの海溝型地震のモーメントマグニチュード (M_w) 8.6 を 8.75, 8.80, 8.85, 8.90, 8.95, 9.00 と大きめに变化させた断層パラメータを作成し、津波数値計算を実施した。計算結果と平塚市の津波ハザードマップ、および、バッファゾーンの領域を比較したところ、バッファゾーンの領域に近い浸水域となる津波を発生させる地震の規模は M_w 8.85 程度になることが分かった。 M_w 8.90 の計算結果では、バッファゾーンの境界として設定されていた東西に走る JR 東海道本線を大きく超えて浸水域が広がっている。平塚市が設定したバッファゾーンは、現地の状況等を考慮しながら定性的に設定されたものではあるが、地震規模の観点から見ると、ハザードマップの基になった想定地震規模の M_w から +0.15 程度の不確実性を考慮できていることが分かった。

②では、津波数値解析と固有直交分解（特異値分解）の手法を用いて浸水深分布の空間相関モードの特性を評価し、計算負荷を抑えつつ、巨大地震断層の切迫性を考慮した確率論的津波ハザード評価を実施した（図 2 参照）。まず、対象地震は、首都直下地震モデル検討会（2014）の「相模トラフ沿いの海溝型巨大地震」(M_w 8.7) の 3 パターンとした。地震調査研究推進本部の津波レシピを参考に断層全体の地震の M_w 8.7 を満足させるように、超大滑り域 (23.5m)、大滑り域 (11.7m)、背景領域 (1.94m) の 3 段階滑りをもつ断層を 3 つ作成した。これらの断層パラメータから、Okada の式を用いて津波の初期水位を求め、非線形長波理論により、地震発生から 3 時間分の津波数値計算を行った。地震断層の不確実性として、断層のすべり量 (M_w 8.7 \pm 0.1) と断層深さ (+2km, \pm 0km, -1 km) の変化を考慮し、 $3 \times 3 = 9$ ケースの津波数値計算を実施した。滑り分布の 3 ケースに対して、それぞれ 9 ケース実施するため、合計 27 ケースの計算を実施した。これらデータに対して、浸水深の空間分布（行方向）と解析ケース（列方向）のデータ行列 \mathbf{X} を作成し、データ行列 \mathbf{X} を特異値分解して、浸水深の空間相関の情報が集約される固有モードを抽出した。さらにこれら固有モードの線形結合を取ることで、疑似的な浸水深分布を多数再生成し、確率論的に浸水深分布を評価した（図 3 参照）。

地域住民の津波からの避難を考えるうえで重要となるバッファゾーンは、各市町村が津波ハザードマップ作成時に記載できるが、作成基準が無いのが現状である。市町村は、地域の特性に応じた独自の設定基準に加え、本研究で整理した他自治体の例を参考に設定することが可能となる。また、提案した確率論的津波浸水評価手法を用いることで、再現期間別の津波浸水域の作成やこれを基にした不確実性を考慮したハザードマップのバッファゾーン設定が可能であり、市町村が要避難対象区域を設定する際の一手法として利用されることが期待できる。

表 1 バッファゾーンの設定方法例（参考文献②参照）

設定区分		バッファゾーンの設定方法
地域の地理条件から設定する方法	標高による設定	・地域での想定浸水高や過去の津波高を考慮して一律で標高 \bigcirc m の領域を設定 ・単に一律で標高 \bigcirc m の領域を設定
	河川・湖沼による設定	・河岸沿いの堤防の整備状況を考慮して河岸沿いの領域を設定 ・湖沼沿いの領域を設定
	その他	・集落境界部の林、田畑等をゾーンの端として設定
人工物や過去の記録等から設定する方法	幹線道路による設定	・浸水想定区域の外側に位置する幹線道路等で囲まれた領域を設定
	町丁目界による設定	・浸水想定区域に近接する町丁目界を設定
	用水路による設定	・用水路等の水の通り道をゾーンの端として設定
	その他	・浸水想定区域の端から内陸 \bigcirc m の領域を設定 ・言い伝えや地名等を基に設定

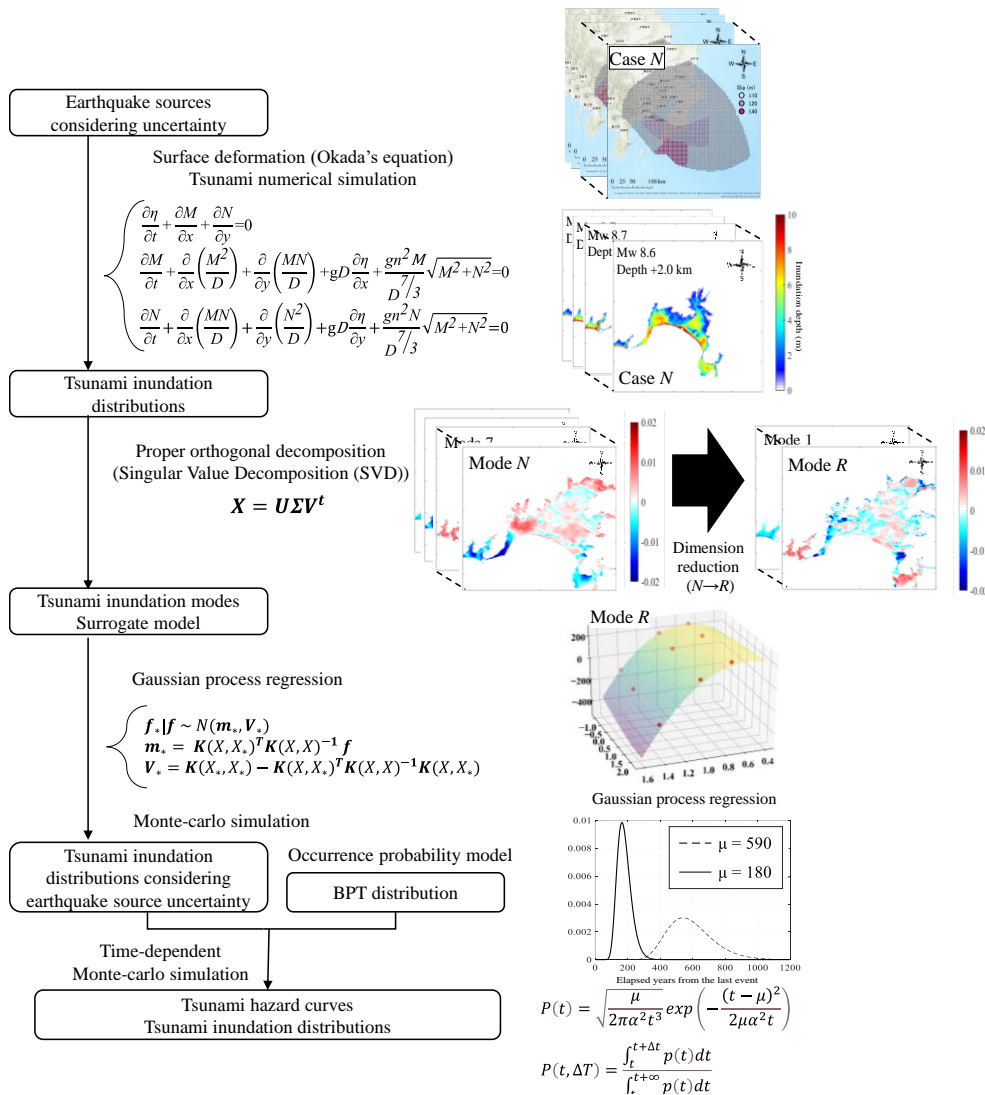


図2 本研究で提案した確率論的津波ハザード評価の流れ (参考文献③、④参照)

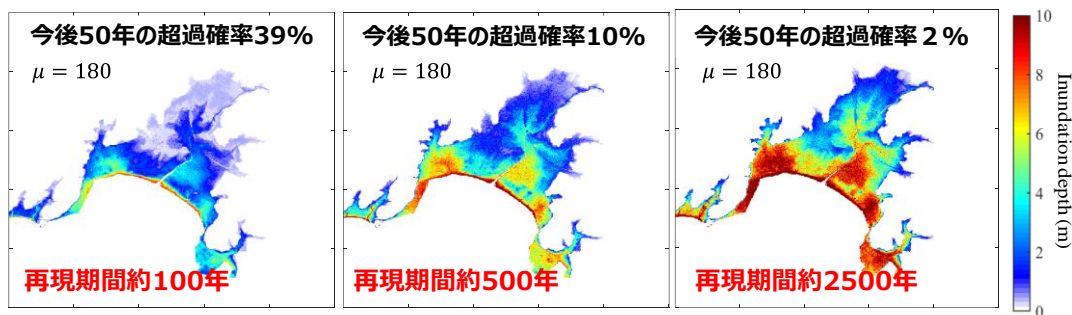


図3 神奈川県鎌倉市を対象とした各再現期間の津波浸水分布の評価例

<引用文献>

- ① 国土交通省：津波・高潮ハザードマップマニュアルの概要，
<http://www.mlit.go.jp/common/000054428.pdf> (2018年11月29日参照)，2004.
- ② 福谷陽，倉橋和也，島袋宗和，志田一樹 (2019) 津波ハザードマップに記載されるバッファゾーンの現状と課題—複数市町村の設定事例と平塚市での数値実験例—，地域安全学会論文集，No.35，pp.173-179. DOI:10.11314/jisss.35.173
- ③ Yo Fukutani, Shuji Moriguchi, Kenjiro Terada, Yu Otake (2021) Time-Dependent Probabilistic Tsunami Inundation Assessment Using Mode Decomposition to Assess Uncertainty for an Earthquake Scenario, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol.126(7), e2021JC017250. DOI:10.1029/2021JC017250.
- ④ Yo Fukutani (2021) Probabilistic tsunami inundation assessment for the maximum possible earthquake, the Sagami trough megathrust earthquake in Japan, Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan, Paper No.C004492, pp1-11. 【Proceeding Paper】

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fukutani Y., Moriguchi S., Terada K., Otake Y.	4. 巻 126
2. 論文標題 Time Dependent Probabilistic Tsunami Inundation Assessment Using Mode Decomposition to Assess Uncertainty for an Earthquake Scenario	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 e2021JC017250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021JC017250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Fukutani Y.	4. 巻 Paper No.C004492
2. 論文標題 Probabilistic tsunami inundation assessment for the maximum possible earthquake, the Sagami trough megathrust earthquake in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 福谷陽・森口周二・寺田賢二郎・鳴原良典	4. 巻 76
2. 論文標題 津波荷重評価に用いる水深係数のモード分解による空間的不確実性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2（海岸工学）	6. 最初と最後の頁 I_295～I_300
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.76.2_I_295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fukutani Y., Nakamura T., Shizuma T.	4. 巻 Paper No.C001608
2. 論文標題 A Macro Spatial Correlation Characteristics of Tsunami Height and Depth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kotani T., Tozato K., Takase S., Moriguchi S., Terada K., Fukutani Y., Otake Y., Nojima K., Sakuraba M., Choe Y.	4. 巻 160
2. 論文標題 Probabilistic tsunami hazard assessment with simulation-based response surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Coastal Engineering	6. 最初と最後の頁 103719 ~ 103719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coastaleng.2020.103719	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukutani Y., Moriguchi S., Terada K., Kotani T., Otake Y., Kitano T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Tsunami hazard and risk assessment for multiple buildings by considering the spatial correlation of wave height using copulas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Natural Hazards and Earth System Sciences	6. 最初と最後の頁 2619 ~ 2634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/nhess-19-2619-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福谷陽、倉橋和也、島袋宗和、志田一樹	4. 巻 35
2. 論文標題 津波ハザードマップに記載されるバッファゾーンの現状と課題	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地域安全学会論文集	6. 最初と最後の頁 173 ~ 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yo Fukutani, Komei Nakamura, Toshiro Shizumu
2. 発表標題 A Study on the Macrospatial Correlation Characteristics of Tsunami Wave Height and Tsunami Inundation Depth
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yo Fukutani
2. 発表標題 Probabilistic tsunami inundation assessment for the maximum possible earthquake
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yo Fukutani
2. 発表標題 Probabilistic tsunami inundation assessment using mode decomposition method —A case study for Kamakura city—
3. 学会等名 30th International Tsunami Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yo Fukutani
2. 発表標題 Numerical Study on Spatial Correlation Characteristics of Tsunami Inundation Depth
3. 学会等名 European Geosciences Union 2020: Sharing Geoscience Online (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福谷陽
2. 発表標題 モード分解を用いた確率論的津波遡上評価
3. 学会等名 第10回巨大津波災害に関する合同研究集会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島袋宗和、倉橋和也、志田一樹、福谷陽
2. 発表標題 津波ハザードマップのバッファゾーンの特徴に関する考察
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukutani Yo, Moriguchi Shuji, Kotani Takuma, Terada Kenjiro
2. 発表標題 Tsunami Risk Assessment Considering Tsunami Wave Correlation Using Copulas
3. 学会等名 2019 Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------