

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：33801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01264

研究課題名（和文）安全目標レベルの住民合意に基づく地区実態に即した津波避難計画策定手法に関する研究

研究課題名（英文）Tsunami evacuation safety planning at community level based on residents' consensus

研究代表者

池田 浩敬（Ikeda, Hirotaka）

常葉大学・社会環境学部・教授

研究者番号：80340131

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、南海トラフの地震による津波災害が想定されている静岡県沼津市をケーススタディの対象として、災害事象としての津波をはじめ複数ケースの条件設定を前提とし、局所的な市街地等の地区特性や住民の空間認識や避難に関する意識等も考慮した上での避難シミュレーションによる評価結果に基づき、どこまでの条件に対して避難安全性を確保するのか、といった安全の目標レベルに関する住民合意の形成と当該合意に基づく実効性のある避難計画の策定を行うための、1)津波シミュレーション、2)避難シミュレーション、3)合意形成のためのワークショップ、を組み合わせ有効な津波避難計画の策定手法の構築を行ったものである。

研究成果の概要（英文）：To develop a method to formulate an effective tsunami evacuation plan at community level, we conducted a case study on tsunami evacuation simulation, and held a workshop for residents' consensus-building about the safety level in Numazu city, Shizuoka Prefecture where the occurrence of the earthquake along Nankai Trough is expected. We carried out tsunami simulation and evacuation simulation assuming multiple cases, taking actual local conditions into account.

研究分野：都市防災

キーワード：津波 避難計画 シミュレーション ワークショップ 住民合意 最適配分

1. 研究開始当初の背景

これまで、マルチエージェントモデルなどを用いた避難シミュレーションに基づき、地区ごとの津波避難の安全性・困難性などの評価を行い、当該結果を用いた避難計画の作成に関する研究、ワークショップの手法を用いたコミュニティベースの津波避難計画の作成に関する研究などが行われてきた。

しかし、それらは、津波の想定をはじめ基本的にはある一定の条件下でのシミュレーション結果であり、当該結果は考慮すべき重要な1ケースである事は間違いないが、それだけを前提として対策を検討することは、避難の安全性を考える上で必ずしも十分とは言えない。

本研究では、複数ケースのハザードや地区住民の空間認識や避難に関する意識等局所的な要素も考慮した上での避難シミュレーションによる評価結果に基づき、どこまでの前提条件に対して避難安全性を確保するのか、といった安全の目標レベルに関する住民合意の形成と当該合意に基づく実効性のある避難計画の策定を目指すものであり、その点が従来の研究とは異なる。

2. 研究の目的

南海トラフの地震による津波災害が想定されている静岡県沼津市をケーススタディの対象として、本研究は、ハザード側の津波をはじめ複数ケースの条件設定を前提とし、局所的な市街地等の地区特性や住民の空間認識や避難に関する意識等も考慮した上での避難シミュレーションによる評価結果に基づき、どこまでの前提条件に対して避難安全性を確保するのか、といった安全の目標レベルに関する住民合意の形成と当該合意に基づく実効性のある避難計画の策定を行うための、1)津波シミュレーション、2)避難シミュレーション、3)合意形成のためのワークショップ、を組み合わせ有効な津波避難計画の策定手法の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1)局所的な要素を考慮した頻度の異なる複数ケースのハザードを想定する津波シミュレーション手法の確立

①地域の局所的な津波特性を把握するために津波痕跡記録の分析を行い、それらの痕跡記録を再現しうる津波波源モデルを構築する。次に、それらの波源モデルを元に、当該地域における詳細な津波シミュレーションを実施することにより、津波避難計画への影響を具体的に明らかにする。

②被害想定で実施されているような広域的な避難シミュレーションではなく、地域ごとに異なる地形や防衛構造物の影響、発生頻度に依存する波源の不確定性による影響を考慮した複数ケースの津波シミュレーションを実施して様々な要素を考慮した地区ごとの浸水可能性の評価を実施す

る。

(2)住民とのコミュニケーションに基づく複数条件の設定に基づくシミュレーション結果から地区の実態に即した有効な避難計画を組み立てていくためのプロセスの構築

①市街地部の第二地区をケーススタディの対象とし、単一の避難シミュレーション結果を住民に示すのではなく、時系列での津波の浸水状況、避難ビルの配置・容量、市街地内の人の分布といった前提条件から、地区ごとの居住者の最適な避難先の配分を行うモデルを構築し、実際の地区の適用し有効な避難計画策定の支援を行うとともに、当該避難計画の避難時間短縮効果の評価を行った。

(3)安全の目標レベルに関する住民合意の形成と当該合意に基づく実効性のある避難計画の策定のためのワークショップ手法の確立

(2)までの成果を活用し、市街地部及び漁村集落等（第二地区、内浦地区、静浦地区、戸田地区等）において、住民・行政が参加するワークショップを行い、住民合意に基づく安全の目標レベルに対応した津波避難計画を作成してもらった。

(4)地区の実態に即した住民合意に基づく津波避難計画策定のためのワークショップ手法の有効性の検証

①避難訓練時の行動計測に基づく避難計画の有効性の検証

市街地部及び漁村集落において、避難訓練時の歩行速度計測及び質問紙調査に基づく避難計画の有効性の検証を行った。

②ワークショップ参加者に対する事前・事後の質問紙調査に基づく有効性の検証

戸田地区において実施したワークショップの参加者に対し、その事前・事後に質問紙調査を行い、津波避難に関する認識の変化把握し、当該ワークショップ手法の有効性についての検証を行った。

4. 研究成果

(1)局所的な要素を考慮した頻度の異なる複数ケースのハザードを想定する津波シミュレーション手法の確立

①1498年の明応東海地震津波の影響評価
駿河湾内には、現在公表されている静岡県第4次被害想定浸水範囲よりも内陸部に1498年の明応東海地震の津波による痕跡（伝承）が複数知られている。これらは、南海トラフで提案されている津波発生モデルでは再現することができないため、本研究で取り上げるべきローカルであるが局所的に津波が高くなるケースと想定される。さらに、本研究の研究対象地である西浦地区でも現想定よりも内陸まで津波が入り込んだことが

指摘されており、地域の局所的な津波特性を理解するうえで外すことのできない研究対象である。

はじめに、現在提案されている様々な断層モデルを利用した津波シミュレーションを実施し、現在提案されている津波発生モデルではこれらの痕跡を再現できないことを示した。

次に、津波発生源を駿河湾内と銭洲付近に絞り込み、それらの場所で局所的な断層すべりの発生による津波高さへの影響を分析し、通常の断層運動ではこれらの痕跡を再現しきれないことも明らかとなった。

最後に、発生源のサイズ、位置、高さ、伝播の向きなどを変化させた津波シミュレーションを試行錯誤的に実施し、結果として図1に示すように駿河湾内に4か所の津波発生源を想定し、40mの津波発生が必要であることを示した。

歴史上の津波を再現する場合、これまでは断層を複数のセグメントに分割して、それらのすべり量を変化させることにより津波シミュレーションを行うことが従前より行われているが、本研究の結果からローカルな津波を再現する場合は、断層運動以外の局所的な津波発生を考慮する必要があることを示すことができた。

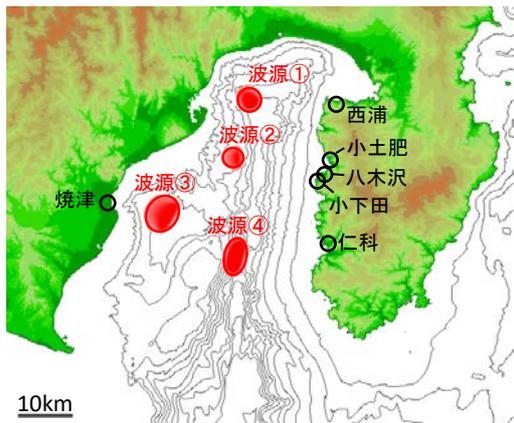


図1 1498年明応東海地震の津波発生源

② 不確実性による地域ごとの津波影響評価

研究対象地である沼津市の海岸線は、駿河湾内を南北に走るプレート境界に直面しており、プレート境界型の地震を想定した場合であっても局所的なすべり量の違いによって津波来襲状況が地域ごとに大幅に変化することが考えられる。また、これらの場所に蓄積されている歪も明らかになっていないため、ひずみ蓄積年数を複数ケース変化した津波シミュレーションによって地域ごとの津波来襲特性を明らかにすることができた。

また、地域によっては防潮堤などの防御構造物の整備状況やニーズも異なるため、これらの条件も変化した津波シミュレーションによって、その効果を具体的に示すことができた。

これらの複数ケースの津波モデルに基づくシミュレーション結果を浸水予測図に表し、住民参加のワークショップに提示した。ワークショップに提示した資料の一例を図2に示す。図2は静浦地区でのワークショップで示した資料であり、駿河湾内で3mの津波が発生(ひずみの蓄積年数として179年程度)した場合、防潮堤の整備有り無しでの被害状況の違いを航空写真上に示したものである。さらに、防潮堤整備によりどの程度の景観が損なわれるかも併せて示すことでワークショップの議論を深めることに繋がった。

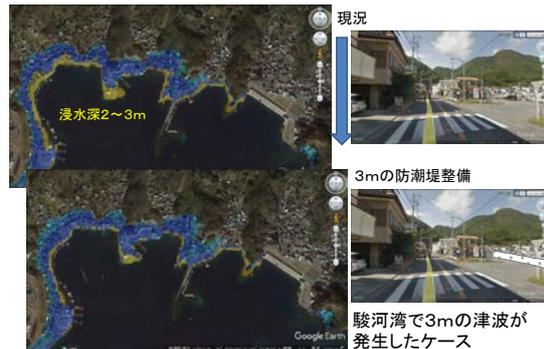


図2 津波発生状況と防潮堤の整備状況に応じた津波被害状況の変化

(2) 住民とのコミュニケーションに基づく複数条件の設定に基づくシミュレーション結果から地区の実態に即した有効な避難計画を組み立てていくためのプロセスの構築

① 避難者の避難先の最適配分モデルの構築

沼津市第二地区の市街地における、1) 現状での津波避難ビルの配置、2) 各避難ビルの容量、3) 各避難ビルまでの津波到達時間、4) 市街地における夜間人口分布を前提条件とし、各避難者が津波避難ビルまでの津波到達時間以内に容量に空きが有る避難ビルに避難するか、浸水域の外縁までの津波到達時間内に浸水域外に避難した場合に避難完了と定義し、上記条件で避難が完了しない避難困難者数の最小化及び避難時間の最小化を目的関数として、避難者の避難先配分の最適化を行う方法についての考察を行った。

本研究では、表1及び表2に示したケース分けに従って、複数ケースについて避難先の最適配分を行った。

- ・歩行速度(健常者・避難行動要支援者)と避難開始時間(5分・10分)の設定
- ・避難容量の小さな避難ビルの避難先としての利用の可否
- ・避難者の目的地決定の方法(最も避難時間が短くなる避難先に割り振るケース(algorithm 1)・浸水域外の目的地を優先して割り振るケース(algorithm 2))
- ・各避難者の目的地割り当ての改善(Refine) (「避難困難者数の最小化」及び「避難時間の最小化」を目的として、避難者の全ペア間で目的地の交換について判断を行い、目的に則した改善が見られる場合は交換

を行うという目的地割り当ての改善の手順を行った場合と行わなかった場合の2ケース)

表1 避難先の割り振りのケース毎の条件設定

	避難開始時間	容量20人未満の避難ビルの扱い	歩行速度
CASE 1	5分後	除かない	1m/s
CASE 1s	5分後	除かない	0.5m/s
CASE 2	10分後	除く	1m/s
CASE 2s	10分後	除く	0.5m/s
CASE 3	10分後	除かない	1m/s
CASE 3s	10分後	除かない	0.5m/s
CASE 4	5分後	除く	1m/s
CASE 4s	5分後	除く	0.5m/s

表2 避難先の割り方法によるケース分け

	目的地決定方法	目的地割り当ての改善(Refine)
algorithm 1	最も近い目的地	なし
algorithm 1r	最も近い目的地	あり
algorithm 2	浸水域外優先	なし
algorithm 2r	浸水域外優先	あり

表3 ケース毎の避難時間のRMS(1)と避難困難者数及び最寄の避難先以外への避難者数

配分計算のケース設定	避難時間のRMS ⁽¹⁾ (S)	避難困難者(人)	最寄の避難先以外への避難者(人)	
CASE 1	algorithm 1	197.1	0	1,740
	algorithm 1r	168.2	0	2,261
	algorithm 2	186.7	0	1,988
	algorithm 2r	172.4	0	2,408
CASE 1s	algorithm 1	511.4	195	1,787
	algorithm 1r	483.6	162	2,335
	algorithm 2	511.7	174	1,956
	algorithm 2r	495.1	174	2,300
CASE 2	algorithm 1	345.7	0	2,088
	algorithm 1r	317.2	0	2,585
	algorithm 2	330.0	0	2,449
	algorithm 2r	319.0	0	2,620
CASE 2s	algorithm 1	903.6	575	2,461
	algorithm 1r	882.8	575	2,774
	algorithm 2	888.1	575	2,528
	algorithm 2r	884.0	575	2,774
CASE 3	algorithm 1	344.9	0	1,940
	algorithm 1r	316.4	0	2,508
	algorithm 2	328.7	0	2,131
	algorithm 2r	318.1	0	2,538
CASE 3s	algorithm 1	902.2	575	2,313
	algorithm 1r	880.9	575	2,704
	algorithm 2	886.9	575	2,410
	algorithm 2r	882.1	575	2,704
CASE 4	algorithm 1	201.9	0	1,888
	algorithm 1r	170.4	0	2,399
	algorithm 2	188.1	0	2,106
	algorithm 2r	174.0	0	2,493
CASE 4s	algorithm 1	553.4	195	1,935
	algorithm 1r	485.9	162	2,408
	algorithm 2	513.7	174	2,074
	algorithm 2r	497.1	174	2,394

実際の市街地における夜間人口を前提とした避難において、避難ビル等の容量や避難開始時間、避難先への津波到達時間等を考慮した上で、避難者の避難完了までの時間を出来る限り短縮させるための避難先の配分方法についての提案を行った。本方法を用いることにより、津波浸水が想定される他の地区においても本手法を適用して、より有効な避難計画の検討を行うことが可能であると考

えられる。

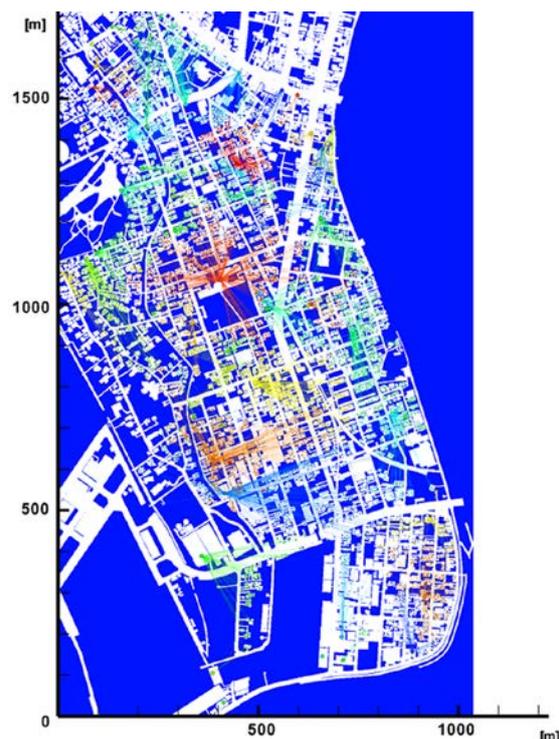


図3 避難先の配分結果(CASE1・algorithm1r)

(3) 安全の目標レベルに関する住民合意の形成と当該合意に基づく実効性のある避難計画の策定のためのワークショップ手法の確立

ワークショップでは、各地区における津波シミュレーション及び避難シミュレーションの手法や設定条件の説明後、複数ケースの津波避難シミュレーション結果を動画と資料に基づき説明し、その内容を共有するとともに、津波対策計画検討の前提として理解してもらった。

その後、1~2つの自治会で1つのグループを構成し、各グループごとに避難先となる高台や避難ビル、避難経路を地図上で確認し、各々の自治会の避難計画の検討を行ってもらった。最後にグループごとに結果を発表し合い全体で情報を共有した。その際、避難対策でどこまでをカバーし、防潮堤など津波防護施設整備や高台移転など避難対策以外の対策も含めどこまでの対策を安全レベルの目標とするかについても検討してもらった。

各地区でのワークショップの成果と課題を次のワークショップに反映させる形で、ワークショップ手法の確立を図った。

(4) 地区の実態に即した住民合意に基づく津波避難計画策定のためのワークショップ手法の有効性の検証

① 避難訓練時の行動計測に基づく避難計画の有効性の検証

避難距離は市街地の特性により異なる(図4)。自宅から避難先までの距離については、自宅から一番近い避難ビルへ移動する傾向

が高いが、必ずしも自宅から最寄りの避難ビルへの避難を決めている訳ではない。

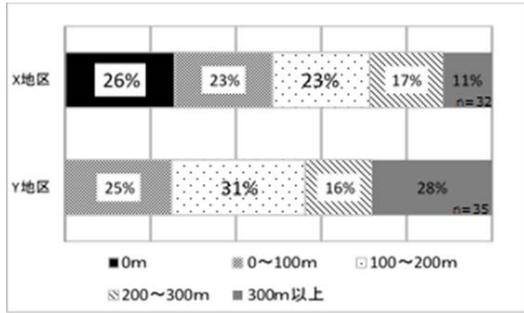


図4 自宅から避難先までの距離

また、避難先として、比較的容量の大きい避難先を選ぶ傾向が見られた。しかし、容量の大きな避難先が近くに存在しない地区を含む第三地区では、容量100人未満の避難先も結果として選ばれている。

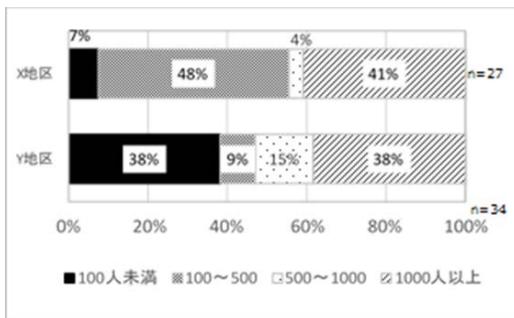


図5 避難先の容量

避難訓練時の計測調査により、平坦な市街地や歩行速度や漁村集落に多く見られる坂道や階段などにおける歩行速度の把握を行った結果、概ね現行の避難計画で前提としている歩行速度は安全側に設定されていることが分かった。

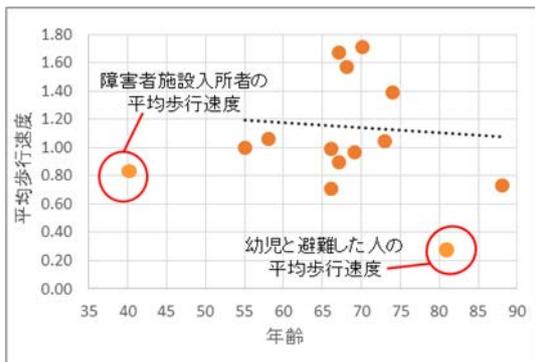


図6 年齢と平均歩行速度の関係

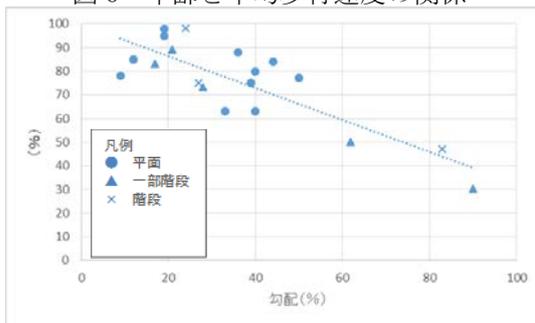


図7 勾配と歩行速度の関係
上記の検討から、ワークショップに用いた

避難シミュレーション結果の妥当性が概ね検証された。

② ワークショップ参加者に対する事前・事後の質問紙調査に基づく有効性の検証

想定されている南海トラフの地震が発生した際に地震発生から自宅に津波が到達するまでにかかる時間に関する認識について、事前と事後の比較を行った。事前と事後の変化をみると、「10分以内→5分以内」の変化が最も多く9人であった。全体で「早い方への変化」が12人、「遅い方への変化」が6人であった。

表4 自宅への津波到達時間の認識

	事後					津波は来ない	無回答
	5分以内	10分以内	15分以内	20分以内	25分以内		
事前	5分以内	26	2	1			1
	10分以内	9	5	2			
	15分以内	1		1			1
	20分以内				1		1
	25分以内			1			
津波は来ない	1					4	

想定されている南海トラフの地震による津波から避難する途中で津波に追いつかれる危険性の認識について、事前と事後の比較を行った結果を表5に示した。

ワークショップ以前の段階では「場合により追いつかれることがある」と回答した23人のうち、4人が「確実に追いつかれる」に変化し、事前に「避難可能」と回答した10人のうち5人は「場合により追いつかれる」に変化し、3人が無回答であった。

表5 避難途中津波に追いつかれる危険性認識

	事後				合計	
	確実に	場合による	避難可能	未記入		
事前	確実に	6	5		2	13
	場合による	4	10	2	7	23
	避難可能		5	2	3	10
	未記入	1	1		9	11
合計	11	21	4	21	57	

津波避難ビル、津波避難タワー、津波避難路等津波避難施設整備の状況に関する認識について、事前と事後の比較を行った結果を表6に示した。

事前段階で「分からない」と回答した14人のうち、11人が「十分とは思わない」に変化し、また、事前には「十分と思う」と回答した6人のうち3人が「十分とは思わない」に、1人が「わからない」に変化するなど、全体として「十分とは思わない」と答える人が事前比べて大きく数を伸ばした。

表6 津波避難施設の整備状況の認識

	事後				合計	
	十分と思う	十分とは思わない	わからない	無記入		
事前	十分と思う	1	3	1	1	6
	十分とは思わない	2	32	1	1	36
	わからない	1	11	2		14
	無記入	0	1	0		1
合計	4	47	4	2	57	

戸田地区の沿岸部には、現在、高潮を対象とした防潮堤（中心部で2m、井田で5m）はあるが、津波対策を目的とした防潮堤は整備されていない。この前提で、防潮堤の有無に関する考えについて尋ね、事前と事後の回答の比較を行った結果を表7に示した。

事前段階で、「わからない」「無い方が良い」と回答したうちの7人が、事後では「あるほうが良い」に変化している。全体でも「あるほうが良い」が事前より事後の方が6人増え、

「無い方が良い」は2人減っている。

「防潮堤があるほうが良い」理由を自由記入で尋ねたところ、「少しでも津波の到達を遅らせたり浸水深を下げることができるから」が最も置く、「命を守ることが大切」といった理由が次いで多かった。特に「少しでも津波の到達を遅らせたり浸水深を下げることができるから」という理由は事後のアンケートの方が多くなっていた。(6→12) 一方「防潮堤が無い方が良い」理由については事前では「景観が悪くなる」が6人で最も多く、他には「津波に対し十分な高さが確保できないなら無くても同じ」、「とにかく逃げればよい」といった意見があった。しかし、事後では「景観が悪くなる」は0件となり、「津波に対し十分な高さが確保できないなら無くても同じ」といった防潮堤の効果を疑問視する意見が2件ほどあった。

表7 防潮堤の有無に関する考え

	事後				合計
	ある方が良い	無い方が良い	どちらでも	わからない	
事前	ある方が良い	29	1		31
	無い方が良い	2	5		10
	どちらでも	1	1	1	3
	わからない	5	1	2	8
合計	37	8	3	9	57

今後、南海トラフを震源とする巨大地震が発生する前に津波対策として自宅を高台へ移転する、自宅を津波に対して安全なものに改修するといった住宅の更新を検討するかどうかについて訊ねたところ、事前では、57人中当該質問には55人が回答し、うち7人が想定浸水域外と回答し、残った48人中19%に当たる9人が「考えている」「条件によっては考える」と回答した。事後では、57人中、当該質問には48人が回答し、うち9人が想定浸水域外と回答し、残った39人中28%に当たる11人が「考えている」「条件によっては考える」と回答した。事前よりも事後の方が住宅の事前対応を考える人数が若干増えた。

以上の結果から、ワークショップ参加者の現状の津波災害リスクに対する認識が高まっていることが明らかとなり、避難計画策定に対し適切なリスク認識に基づく合理的な意思決定を行う上で、ワークショップが有効に機能していることが検証された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ① 池田浩敬、木村謙、和田聖治、白井くるみ、市街地における津波避難先配分の最適化に関する研究-沼津市第二地区における検討事例-、地域安全学会論文集、査読有、No. 30、2017、pp. 53-60、<http://isss.jp.net/isss-site/wp-content/uploads/2017/03/2016-061.pdf>
- ② 阿部郁男、駿河湾内の津波痕跡に着目した1498年の明応東海地震の津波波源の検討、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、査読有、73巻、2017、pp. I_301~I_306、

http://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_301

[学会発表] (計 4件)

- ① 白井くるみ、池田浩敬、河原圭佑、中村友紀、佐野睦実、市街地における津波避難行動に関する基礎的研究、地域安全学会、2015年11月14日、静岡
- ② TERUMOTO Kiyomine, A regional tsunami evacuation model based on practical disaster risk reduction activities, The 16th World conference on earthquake engineering (国際学会), 2017年01月09日~13日、Santiago, in Chile
- ③ 池田浩敬、安藤裕、津波避難シミュレーションを用いたリスクコミュニケーション事例-静岡県沼津市戸田地区での事例-、地域安全学会、2018年5月25日、北海道奥尻町
- ④ 照本清峰、津波からの避難行動と支援体制に関する地域住民の認識、土木学会、2017年9月11日~13日、福岡

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 浩敬 (IKEDA, Hiroataka)
常葉大学・社会環境学部・教授
研究者番号：80340131

(2) 研究分担者

照本 清峰 (TERUMOTO, Kiyomine)
関西学院大学・総合政策学部・准教授
研究者番号：10416399

阿部 郁男 (ABE, Ikuo)

常葉大学・大学院環境防災研究科・教授
研究者番号：30564059