

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22241044

研究課題名(和文)海溝型地震、高潮災害による「長期湛水」被害に対する防災戦略の構築

研究課題名(英文) Developing recovery strategies from the long term flooding after tsunami and storm surge disaster

研究代表者

牧 紀男 (MAKI, Norio)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：40283642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：南海トラフ地震では、東日本大震災の被災地で発生したのと同様に、高知市で2m程度の地盤沈降が発生し、津波の被害を受け「長期湛水被害」が発生することが予想される。本研究では、東日本大震災等、実際の事例も含め海溝型地震・高潮に伴う「長期湛水」について被害予測、社会的提供評価、海外事例を含めた湛水被害後の住宅、ライフラインの復旧、災害による被害、その後の復興を含めて総合的な影響評価手法についての検討を行った。

研究成果の概要(英文)：There exists high risk about a long term flooding after tsunami and storm surge at the below sea level area in Japan. The damage and impacts from the long term flooding, and response and recovery strategies were clarified from numerical analysis and case studies about the great east Japan earthquake disaster and hurricane Katrina disasters. And the new method to evaluate comprehensive impacts including damage and recovery process after disaster were also developed.

研究分野：防災学

キーワード：長期湛水 復興 津波 高潮

1. 研究開始当初の背景

今後30年以内に50~60%という高い確率で発生する事が予想されている南海トラフ地震では、断層運動による地盤の隆起・沈降が発生し、高知市では2m程度の地盤沈降が発生する。海岸・河川堤防も地盤沈降の影響を受けて沈降するため、高知市では津波により海岸・河川堤防を越えて浸水被害が発生することが予想される。海拔0m以上の地域であれば、津波による浸水は時間の経過と共に自然に排水されていくが、高知市の場合、地盤沈降の影響を受け海拔よりも低い0m以下の地域が拡大する。中央防災会議のモデルで計算を行った場合、満潮時に海面よりも低くなる地域の面積は31.19 Km² (現状、9.75 Km²) となり、その地域に住む人口は約6万人にも及ぶ。0m以下地域では自然排水を期待する事はできず、①堤防の仮締めきりを行った上で、②ポンプによる排水作業、を行う必要がある、排水作業を完了するまでに長い期間を要する。0m地帯が浸水被害を受けた例としては、50年前に発生した伊勢湾台風による高潮災害があるが、排水完了までに75日間、近年発生した2005年のハリケーン・カトリーナ災害ではほぼ1ヶ月を要している。伊勢湾台風、ハリケーン・カトリーナ災害は一つの地域だけが被害を受けた災害であり国の復旧資源の全てを振り向ける事が可能であった。しかし、東海・東南海・南海地震の場合、他の地域でも大きな被害が発生しており、すべての復旧資源を高知市の排水作業に投入する事は不可能であり、湛水期間がより長期に及ぶことが予想される。高潮災害の場合、地中埋設管に対する被害は発生していないが、高知市の場合地震の揺れによる被害も同時に発生しており、排水作業が完了してからガス、水道といったライフラインの復旧作業や地震被害や浸水被害を受けた建物の片付けが実施される事になり、浸水地域で生活を営める状況まで復旧するためには年単位での長い時間を要することが予想される。また、地盤沈降に伴い河川堤防も沈降するが海面は変動ないため、河川の水面の上昇による水害の頻発といった影響が継続する事が予想される。

「長期湛水被害」発生の懸念は地震災害に限ったことではない。地球温暖化に伴う海面上昇、台風の強大化の影響を受け、東京湾(116 Km², 176万人)、伊勢湾(336 Km², 90万人)、大阪湾(124 Km², 138万人)においても高潮災害に伴う「長期湛水被害」の発生が危惧されている。

高知市における地震災害に伴う「長期湛水被害」については、その発生は危惧されているが、具体的な被害予測は行われていない。高潮による3大湾の被害についても水没する可能性のエリアの同定が行われているが、実際にどのような被害が発生するのかについては検討されていない。今後の防災対策を考える上で非常に重要な1) どれだけの人々が

避難を行う必要があるのか、2) 復旧までにどれだけの期間を要するのか、3) 長期間に及ぶ湛水被害に伴う地域の活動停止が地域の経済に与える影響等々、の「社会影響評価」は行われていない。また、多くの人々が長期の避難生活を行うことが予想されるが、どこに・どのように避難するのか、長期に渡る避難生活をどのようにマネジメントするのか、といった応急対応に関わる対策、堤防の締めきり/排水・ライフラインの復旧をどのように行うのか、さらには再び同じ場所に都市を再建するのも含めた復旧・復興戦略についてはこれまで全く議論されていない。南海トラフの地震、3大湾の高潮災害について、その危険性については指摘されているが、社会的影響を含む被害シナリオ、さらには災害対応・復旧復興についての定性的な検討さえ行われていないのが現状であり、被害量や復旧期間についての定量的な検討については全く行われていない。南海トラフの地震が発生することはほぼ確実であり、3大湾の高潮災害の発生も危惧されており「長期湛水」災害に関する防災戦略を構築する事は急務の課題である。

2. 研究の目的

都市における「長期湛水」は長期の避難・経済活動の停止等、社会に大きな影響を与えると考えられるが、これまで学術的観点から被害予測、社会的影響の検討、災害対応戦略に関する検討は行われていない。本研究は、海溝型地震・高潮に伴う「長期湛水」について詳細な1) 被害予測・2) 社会影響評価手法の構築を行い、3) 災害対応・復興のあり方について、長期湛水災害についての対策のあり方について検討することを目的とする。

3. 研究の方法

上記目的を達成するための以下のような検討を行う。

- 1) 長期湛水を予測のための長時間津波シミュレーションの高速化
- 2) 長期湛水による被害想定のための高精度の津波予測技術の開発
- 3) 「長期湛水被害」後の「復旧期間」の推定のためのライフライン相互影響評価手法の開発
- 4) 「長期湛水被害」後の住宅再建プロセスの明確化
- 5) 「長期湛水被害」による地域影響評価手法の開発と復旧・復興戦略構築

4. 研究成果

- 1) 長期湛水を予測のための長時間津波シミュレーションの高速化

長期湛水を予測するためには、通常の津波浸水シミュレーションを長い時間にわたって計算すればよいが、シミュレーション時間が長くなるため、計算プログラムの高速化が必要である。ここでは、津波計算プログラム

を並列化と、大規模クラスタの利用により、長時間シミュレーションの短時間実行を実現した。これらを用いて、南海トラフ巨大地震発生後 48 時間分の津波計算を高知市において行い、その結果、地震後 2 日たっても市内の広い範囲で湛水している恐れがあることが明らかになった。

2) 長期湛水による被害想定のための高精度の津波予測技術の開発

巨大地震が引き起こす津波挙動について、波源を含む広域の津波挙動を平面二次元解析で計算し、それと同時に並行的に三次元解析で沿岸域・遡上域の津波挙動を予測評価する手法を開発し、東日本大震災の被害結果と比較してその妥当性を確認した。また、その手法を用いて沿岸域での建設が検討されている海洋インバースダムの津波減災効果について検討した。さらに、沿岸域・遡上域で発生する津波漂流物被害を予測評価するため、船舶の三次元挙動を予測できる手法を開発し、実験結果等と比較して妥当性を確認した。

3) 「長期湛水被害」後の「復旧期間」の推定のためのライフライン相互影響評価手法の開発

東日本大震災におけるライフラインの被害・復旧においてライフライン相互の影響を評価するため、それぞれのライフラインの被害報告書から他のライフラインの関連用語の検出を行い、用語数の数量化を行った。その結果、多くのライフライン被害、復旧においては、電力の供給停止が大きく影響していることが明らかになった。

4) 「長期湛水被害」後の住宅再建プロセスの明確化

長期湛水被害を受けた米国ハリケーン災害の被災市街地を事例として、3 つの地域生活空間における住宅再建プロセスと被災者の意思決定メカニズムを解明した。また、東日本大震災の沿岸 9 市町を対象として、被災者の自律的な回復力を生かした住宅再建行動の集積による市街地空間の変容を空間的に可視化した。

5) 「長期湛水被害」による地域影響評価手法の開発と復旧・復興戦略構築

a. 地域影響評価

国勢調査メッシュ統計情報を利用し災害が社会に与える影響について評価方法の開発を行ってきた。影響評価の手法は、例えば阪神・淡路大震災であれば、災害発生前 (1990 年) の国勢調査人口データを用いて震災から 10 年後、2005 年の人口予測を行い、さらに推計人口を使って地域特性分析をおこなう、というものである。地域特性としては以下の 3 つのパターンを設定している：1. 持続類型：今後も人口が減少していく地域、2. 依存類型：雇用・高等教育を他地域に「依

存」しているため若い世代が少なく、長期的に見ると人口が減少していく地域、3. 限界類型：65 歳以上が大半を占める限界集落地域。さらに 2005 年の実人口データについても地域特性分析をおこない、その地域類型についての比較を行うことで震災の影響を明らかにした (図 1)。

濃い色のメッシュが推計値<震災の影響なし>と実際の値<震災の影響あり>が異なるものであり、震災の被害さらにはその後の復旧・復興の影響により、地域類型が変化した地域、震災の影響を受けた地域であると考えることができる。同様の分析を、2004 年に発生した新潟県中越地震の被災地についても、震災から 5 年後 (2010 年) の状況について分析を行った。2010 年の推計人口 (2000 年基準) による地域類型、2010 年の実人口による地域類型の変化の抽出を行った (図 2)。

「震災のあり・なし」での地域類型比較を行った結果から、まず分かるのは「色の薄い地域」、すなわち震災を経験しても変化しない=「震災の影響を受けていない」地域が大半を占めるということである。地域が元々持っていた力が、震災による物理的被害、復旧・復興のプロセスを経ても、震災前の姿に戻る力となっていたと考えられる。さらに詳細に見ると、震災の影響で、前よりも良くなっている地域 (「濃い緑」) も存在する。長田区の再開発地域が「濃い緑」の地区となっており、高齢者が住んでいた木造住宅が震災で倒壊し、その後、若い世代が入居した結果として、人口からみた地域の持続性は向上している。また、人口減少地域においても小千谷市の「持続類型」の地域では前よりも良くなっている。その一方、旧山古志村・川口町では「濃い赤」(震災が無ければ依存類型と推定されていた地域が限界類型) に転じるような影響が、震災を経験して発生している。

本研究により国勢調査メッシュ統計データを用いて、被害だけでなく復旧・復興も含めた災害による影響を定量的に評価する湯法が明らかになった。今後は、本研究成果をさらに発展させ、災害前の状況から災害による被害を踏まえ、復興後の地域がどのようなのかについてシミュレーション可能な技術の開発を行っていきたいと考える。

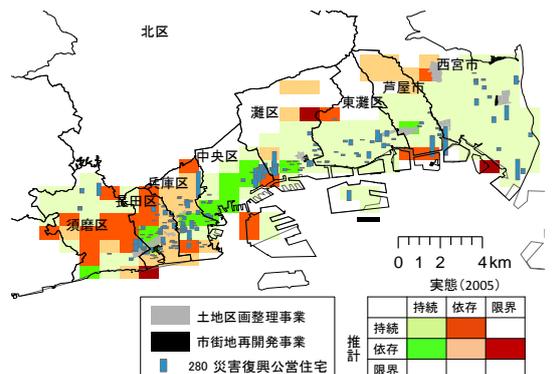


図 1 阪神・淡路大震災の影響の地域類型

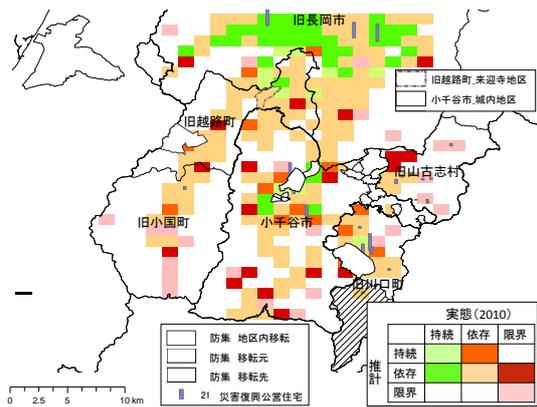


図2 新潟県中越地震の影響

b) 長期湛水被害の被害と災害対応・復旧対策

高知市では南海トラフ地震時に長期湛水被害が発生することが懸念されている。長期湛水の影響を受ける地域には、高知市の中心市街地も含まれる。図3に重要社会基盤施設に対する湛水被害の影響を示す。高知県庁・県警本部は湛水地域から外れているが、災害対応を行う上で重要な役割を担うマスメディア、ライフライン企業の本社（電力・ガス）が湛水地域に位置する。特に深刻なのが湛水被害からの復旧を担う、国の河川国土事務所、土木事務所が塑望平均潮位よりも低い地域に位置している事であり、施設自体は被害を受けなくても施設へのアクセスが極端に制限されるようになる。また、清掃工場が湛水地域に位置することから災害廃棄物処理が問題となる。高知市における湛水は、高知県の業務中心地区で発生しており、地域の経済活動の業務継続も重要な課題になると考えられる。

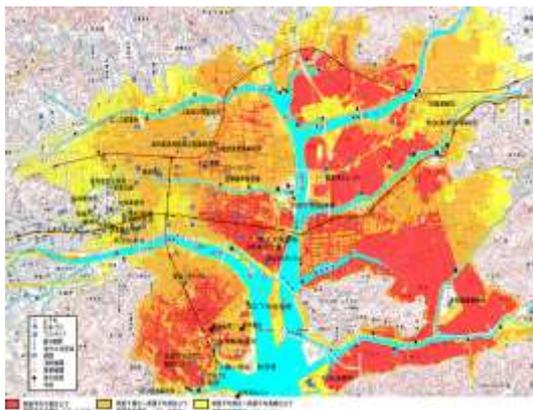


図3 重要社会基盤施設と湛水地域

また、多くの人々が長期湛水の影響を受けることが予想され、表7に示すように2030年の人口推計を用いると2万4千人の人々は、排水作業が完了し、さらにライフラインの復旧工事が完了するまでの長期に渡る避難生活を余儀なくされると推定される。

表7 長期湛水の曝露人口

	2005			2030		
	人口	高齢者	高齢化率	人口	高齢者	高齢化率
期望平均満潮位以下	116,264	24,415	21.0	102,462	34,021	33.2
期望平均潮位以下	84,527	17,024	20.1	75,324	24,630	32.7
期望平均干潮位以下	26,792	4,930	18.4	24,382	7,764	31.8

2030年人口：2005年メッシュ人口に基づき、国立社会保障人口問題研究所の日本の都道府県別将来推計を用い、人口コーホート法により将来人口推計を行った結果
 高知市：浦戸：期望平均満潮位 (T.P.+1.143m) 期望平均潮位 (T.P.+0.063m) 期望平均干潮位 (T.P.-1.137m)

過去の被害事例の分析、ワークショップから明らかになった災害対応、復旧課題を統合し、長期湛水被害の災害対応、復旧課題を図4にまとめる。湛水被害の場合は、通常の災害対応に加えて、堤防仮締め切り（1週間～2ヶ月程度必要）、住民移送（5日～20日程度必要）、排水対策（1～3ヶ月程度必要）、住民帰還（1ヶ月後以降）という湛水被害特有の対応業務が発生し、さらに高知市の場合は、1) 災害対策本部の湛水地域外への設置、2) 干満による浸水深の変動に対する注意喚起、3) 湛水地域への立ち入り禁止措置、4) 湛水地区の中心市街地の業務継続対策、5) 湛水区域の縮小化対策といった対策が必要になる。また、地盤沈降に伴い6) 水害リスクの増大に対する備えという対応も必要になる事が明らかになった。



図4 長期湛水被害の災害対応、復旧対策課題

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53件)

- ① Toshitaka Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, and T. Kato, "Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami", (査読有), Pure appl. Geophys., doi:10.1007/s00024-015-1049-2, 2015.02.
- ② Norio MAKI, Long term recovery from the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Disaster, Advances in Natural Hazards Research、(査読有)、Vol.44, Post-Tsunami Hazard; Reconstruction and Restoration, pp.1-14, Springer, 2015
- ③ 近藤民代、東日本大震災における自治体独自の住宅再建支援補助金メニュー創

- 設の背景と特徴－広域巨大災害における住宅再建支援に関する考察－、日本建築学会計画系論文集、(査読有)、第 707 号、pp.135-144、2014
- ④ Titaya Sararit and Tamiyo Kondo, Nine Years After the Indian Ocean Tsunami 2004: Comparing Physical Conditions and Evaluating Residents' Satisfaction in Recovery House Types, *Journal of Habitat Engineering and Design* 6, (査読有)、1、pp.563-570、2014
- ⑤ 中西陽一、鋤田泰子、直田梓、米山望：津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への作用力評価、土木学会論文集 A1、(査読有)、Vo.70, No. 4, pp. I_71-I_79, 2014
- ⑥ Yasuko Kuwata, Daisuke Ikejiri : Liquefaction-induced pipeline damage concentration and landform and land use changes in the Kashima region, *Journal of Japan Association of Earthquake Engineering*、(査読有)、Vol.14, No.6, pp.21-35, 2014
- ⑦ 佐藤慶一、牧紀男、堀田綾子、岸田暁郎、田中傑、被災前の人口トレンドが被災地の地域人口構造へ与える影響、地域安全学会論文集、(査読有)、No.24, pp.293-302、2014
- ⑧ Haili Chen, Norio Maki and Haruo Hayashi, Disaster resilience and population ageing: the 1995 Kobe and 2004 Chuetsu earthquakes in Japan, *Disasters*、(査読有)、Volume 38, Issue 2, pp. 291-309, 2014、DOI: 10.1111/disa.12048
- ⑨ ハイレル・フダ、山本直彦、田中麻里、牧紀男、2004 年インド洋大津波後にインドネシア・バンダアチェ市とその近郊に建設された再定住地の居住者履歴と生活再建－パンテリー地区慈濟再定住地とヌーフン地区中国再定住地の比較から、日本建築学会計画系論文集、(査読有)、第 79 巻、第 697 号、pp.597-606、2014
- ⑩ 菅野悠介、米山望、海洋インバースダムの津波減災効果に関する数値解析、土木学会論文集 A2 (応用力学)、(査読有)、Vol. 70、No. 2、pp. I_555-I_563、2014
- ⑪ Hyodo, M., T. Hori, K. Ando, T. Baba, The possibility of deeper or shallower extent of the source area of Nankai Trough earthquakes based on the 1707 Hoi tsunami heights along the Pacific and Seto Inland Sea coasts, southwest Japan, *Earth, Planets and Space*、(査読有) 66, doi:10.1186/1880-5981-66-123, 2014.09.
- ⑫ Norio MAKI, Disaster Response to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake: National Coordination, a Common Operational Picture, and Command and Control in Local Governments, *Earthquake Spectra*、(査読有)、Vol. 29, No. S1, pp. S369-S385, 2013
- ⑬ 陳海立、劉治君、牧紀男、林春男、澤田雅浩、災害復興における集団移転と生活再建の課題－台湾モーラコット台風の「永久屋基地」の基礎分析を踏まえて－、都市計画論文集、(査読有)、47-3 号、pp.919-924、2012
- ⑭ Khailulu Huda, Naohiko Yamamoto, Norio Maki、Shuji Funo. On-site permanent housing supply in the reconstruction stage after 2004 Indian ocean tsunami The case of un-habitat in Banda Aceh municipality in Indonesia、日本建築学会計画系論文集、(査読有)、第 675、pp. 959-968、2012
- ⑮ 鋤田泰子、長澤正治、インドネシア・バンダアチェにおける震災復興前後の住民の水道利用分析、土木学会論文集 A1、(査読有)、Vol. 68, No. 4, pp. I_920-I_929, 2012
- ⑯ 大西洋二、鋤田泰子、広域災害時の応急給水能力に関する一考察－東日本大震災の事例－、土木学会論文集 A1、(査読有)、Vol. 68, No. 4, I_930-I_939, 2012
- ⑰ Yasuko Kuwata, Tasuku Okamoto, Analysis of the impact of water-supply outages due to multiple factors caused by the 2011 Tohoku earthquake, *Journal of Disaster Research*、(査読有)、Vol.7, No.6, pp. 701-710, 2012
- ⑱ Nozomu Yoneyama, Hi. Nagashima, and K. Toda, Three-dimensional numerical analysis to predict behavior of driftage carried by tsunami, (査読有)、Vol 64, 965-972, *Earth Planets Space*, 2012
- ⑲ 米山望、森信人、三輪真輝、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の釜石湾における挙動の数値解析、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、(査読有)、Vol.68, No.2., I_161-I_165, 2012
- ⑳ 米山望、直田梓、橋梁に作用する津波波力評価に対する VOF 法に基づく数値計算法の適用性検討、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、(査読有)、Vol.68, No.2., I_246-I_250, 2012.
- ㉑ 近藤民代、被災市街地における住宅再建の実態－ハリケーン・カトリーナ災害におけるニューオリンズ市の住宅再建に関する研究その 1、日本建築学会計画系論文集、(査読有)、第 671 号、pp.67-74、2012
- ㉒ 近藤民代、被災市街地における住宅再建の経年変化－ハリケーン・カトリーナ災害におけるニューオリンズ市の住宅再建に関する研究その 2、日本建築学会計画系論文集、(査読有)、第 679 号、pp.2283-2292、2012
- ㉓ 陳海立、牧紀男、林春男 生活機能に基づく「基礎生活圈」の抽出手法の開発－紀伊半島、東日本大震災の被災地域を事例として－、地域安全学会論文報告集、

- (査読付)、No.15、 pp.275-283、2011
- ②④ Toshitaka Baba, T., H. Matsumoto, K. Kashiwase, T. Hyakudome, Y. Kaneda, and M. Sano, Micro-bathymetric evidence for the effect of submarine mass movement on tsunami generation during the 2009 Suruga Bay earthquake, Japan, the 4th edition of the "Submarine mass movements and their consequences" book(査読有), editors Yamada, Y. et al., 485-495、2011
- ②⑤ 米山望、中島健輔、永島弘士、巨大津波発生時におけるフラップゲート式可動防波堤の挙動予測手法の開発、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、(査読有)、Vol.67, No.2, I_281-I_285, 2011
- ②⑥ 牧紀男、陳海立、馬場俊孝、澤田雅浩、鈴木進吾、佐藤栄治、能島暢呂、長期湛水被害からの災害対応、復旧対策の基礎的検討ー南海地震による高知市を事例としてー、地域安全学会論文集、(査読有)、No.13、pp.195-202、2010
- ②⑦ Haili Chen, Norio Maki, and Haruo Hayashi, Adapting the Demographic Transition in Preparation for the Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake, Journal of Disaster Research, (査読有)、Vol.5, No.6, pp. 666-676, 2010
- ②⑧ 陳海立、牧紀男、林春男、将来人口減少を考慮した東海・東南海・南海地震の地域暴露特性ー将来暴露人口と社会基盤施設に対する基礎考察ー、pp.365-380、自然災害科学 95、(査読有)、Vol.29、No.3、2010
- ②⑨ 米山望、松宮弘信、鮫島竜一、淀川における河川遡上津波発生時の三次元塩水挙動解析、河川技術論文集、(査読有)、第16巻、pp265-270、2010.
- ③⑩ Yasuko Kuwata, Shiro Takada, Business restoration related to lifeline after tsunami disaster, Journal of Earthquake and Tsunami, (査読有)、Vol. 4, No. 2, 73-81, 2010

[学会発表] (計 21 件)

- ① Tamiyo Kondo, Housing Recovery for Sustainable Disaster Recovery; through case study of Hurricane Katrina (2005) and Great East Japan Earthquake (2011), 3rd International Conference on Urban Disaster Reduction、米国ボルダー市、2014.09.28-10.01.
- ② Toshitaka Baba, Incorporating Three Dimensional Shapes of Buildings and Structures in Tsunami Inundation Modeling of the 2011 Tohoku-oki Earthquake" AGU Fall Meeting, Moscone Center, 米国・サンフランシスコ、2012.12.03-07.
- ③ Norio Maki, Long Term Recovery from the 3.11 East Japan Earthquake Disaster -Moving to Higher Ground?-. Disaster: Earthquake Disaster: Evaluating Resettlement Projects after Tsunami

Disasters, the 15th World Conference on Earthquake Engineering., Lisbon Congress Centre (ポルトガル・リスボン)、2012.09.24-28.

- ④ Norio MAKI, Long term recovery from the 2004 Indian Ocean Tsunami Housing Recovery in Banda Aceh, the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, 2010.08.30-09.03.
- ⑤ Yasuko Kuwata, the effect of the industrial water outage on manufacturing business after the Kobe earthquake" the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, 2010.08.30 -09.03.

[図書] (計 2 件)

- ① 牧紀男、復興の防災計画ー巨大災害に備えるー、鹿島出版会、2013
- ② 牧紀男、災害の住宅誌ー人々の移動とすまいー、鹿島出版会、2011

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧紀男 (MAKI NORIO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：40283642

(2) 研究分担者

鋏田 泰子 (KUWATA YASUKO)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号：50379335

近藤 民代 (KONDO TAMIYO)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号：50416400

馬場 俊孝
独立行政法人海洋開発研究機構・地震津波
防災研究プロジェクト・技術主任
研究者番号：90359191

米山 望
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：90371492