

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2011～2015

課題番号：23404019

研究課題名(和文) インド洋津波後の都市復興計画の検証と地球温暖化によるアジア都市の津波リスク評価

研究課題名(英文) Examination of Urban Recovery Plans after the 2004 Indian Ocean Tsunami and Urban Risk Evaluation of Tsunami in Asia Influenced by Global Warming

研究代表者

村尾 修 (Murao, Osamu)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：70292753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地球温暖化の影響を受けるアジアの沿岸部の災害マネジメントに資することを目的としている。まず、2004年スマトラ沖津波により被災した3カ国における復興計画を整理し、建物復興曲線を用いて復興過程を比較した。その結果、スリランカ、タイ、インドネシアの順に復興が早かったことが定量的に示された。また、第3回国連防災世界会議で採択された仙台防災枠組に盛り込まれているBuild Back Betterの観点から復興上の課題を明らかにした。さらに、2013年台風ヨランダで被災したフィリピンのバセイでの調査に基づき、今後海面上昇の影響が懸念されている沿岸部に位置する都市のリスク評価手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：This project aims to contribute future disaster management of the coastal areas in Asia, which are seriously influenced by the global warming. At first, focusing on recovery plan and recovery processes of Thailand, Sri Lanka, and Indonesia, from the 2004 Indian Ocean Tsunami, comparative studies were conducted based on field surveys. As a result, it was clarified that the swiftest recovery was in Sri Lanka, and the slowest was in Indonesia. Secondly, problems on post-tsunami urban recovery in the three countries were indicated from the viewpoint of "Build Back Better," which is one important element of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, adopted in the 3rd World Conference on Disaster Risk Reduction. Finally, a coastal disaster risk evaluation method was proposed by a case study of Basey in the Philippines, which was seriously damaged by the 2013 Typhoon Yolanda.

研究分野：都市防災

キーワード：津波 建物復興曲線 2004年インド洋津波 2013年台風ヨランダ 都市復興計画 高潮 海面上昇 台風

1. 研究開始当初の背景

(1) 復興に関する研究の背景

White, G., and Haas (1975) (①) は Assessment of Research on Natural Hazards の中で、1970年代初期までの自然災害研究は主に物的そして技術的分野を対象としており、復旧・復興に関連する経済的、社会的、政治的側面からの視点が少なかったとされている。その後 Mileti (1999) (②) は、Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States の中で「1975年以降、多くの研究が事前の計画と対応に焦点を当てるようになり、事前の計画が人的・経済的被害を減じ、復旧・復興を促進することができることがわかってきた」と述べている。

このように復興の研究はここ30年ほどで進展を見せてきたが、その多くは災害ごと地域ごとに行われた個々の事例研究であった。中林らの研究グループは、2001年以降トルコ・台湾・日本において1990年代に発生した地震被災地での復興過程に関する比較研究を行ってきたが、多様な社会の中で展開される復興過程を対象とした復興研究を包括的な学問体系に導くためには、評価尺度の確立やいかに復興記録をアーカイブズとして残していくかなど多くの課題が残されている。そして、2004年のスマトラ沖津波が発生し、世界的にも衝撃を与えた。その復興に関しても地域ごと・分野ごとに研究が進められているが、復興過程と都市政策に関する包括的な国際比較について積極的に進められている研究は、筆者の知る限り、極めて少ない。

(2) 復興研究に関するこれまでの取り組み

研究代表者は、2001年度から2003年度まで上記中林らの研究グループの一員として、各国の復興過程を調査し、復興過程評価指標の必要性と、復興に関するデータを蓄積する意義について検討してきた。その後、1999年台湾集集地震の被災地である集集鎮を研究フィールドとして、長期にわたる包括的な復興調査研究を行い(例えば③)、復興過程評価指標を検討した結果、地域に関わらず作成可能な建築復興曲線の考えに至った(④)。一方で、2004年度以降はスマトラ沖津波被災地の都市復興に関する研究プロジェクトにも関与するようになり、同じ地震により被害を受けた各地の長期にわたる復興過程を比較検討し、今後の津波復興政策に活かす必要性を考えるようになった。そのために集集における建物復興曲線の考えをスマトラ津波被災地に適用できると判断し、適宜建物復興のデータを入手し、復興曲線を構築してきた。

さらに、2006年以降は「衛星画像等を用いた都市復興アーカイブズ構築に関する研究」にも着手し、Google Earthなどを用いた復興研究の可能性についても検討してきた。これらの知見を踏まえ、スマトラ被災地の研究をさらに発展させることにより、地域の津波防

災都市計画策定に貢献できる。

2. 研究の目的

本研究は、2004年スマトラ沖津波による被災地(タイ、スリランカ、インドネシア)を主なフィールドとし、被災からの復興過程を客観的指標である建物復興曲線を用いて記述することにより、国際比較を行なうものである。そのために、筆者らが進めてきた台湾における建物復興曲線に関する研究を比較研究の域まで発展させ、その使用方法について検討するとともに、それに基づき、復興の進展状況とその背景にある政策との関係を明らかにする。また被災から一定期間が経過した時点における各国の津波防災に関する都市計画上の課題と対策について整理し、津波防災都市計画のメニューと課題を提示することを目的とする。

3. 研究の方法

本プロジェクトでは、これまでの台湾集集鎮における復興研究も踏まえ、2004年インド洋津波により被災したスリランカ、インドネシア、タイを対象とし、復興過程を比較するとともに、被災後の時間経過に伴う変化についても言及する。また地球温暖化による海面上昇が懸念されているアジアの都市において現地調査を行い、近年の動向を把握する。詳細は以下の通りである。

(1) 建物復興曲線を用いた復興過程の比較

災害後の復興過程を建物再建データを用いて定量的に示す手法である建物復興曲線を用いて、2004年インド洋津波による主な被災地であるスリランカ、インドネシア、タイの復興過程を比較する。またインドネシアにおける被災地域間の復興過程と、その背景にある復興計画策定方針等との関係より、その特徴と課題を明らかにする。

(2) 復興モニタリングによる復興の検証

2015年に仙台で開催された国連防災世界会議において仙台防災枠組(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction)が採択された。その中で、「より良い復興」を示すBuild Back Betterの方針も盛り込まれた。被災後の復興計画により再生した地域を長期にわたる復興モニタリングと住民ヒアリングにより評価し、その課題を明らかにする。

(3) 沿岸災害によるリスク評価手法の提案

現在、世界中で懸念されている地球温暖化は気候変動にも影響を与え、海面上昇により沿岸地域の災害リスクも増大している。ここでは2013年末にフィリピンを襲った台風ヨランダ(ハイエン)により被害を受けたサマル島のバセイを対象とし、建物被害分析に基づく、台風や高潮による沿岸部の災害リスク評価方法を提案する。

(4) 沿岸部の海面上昇リスク状況の把握

海面上昇はアジアのメガ・デルタなど沿岸地域にも影響を与えている。本研究では、海面上昇による沿岸部リスク軽減に関する将来的な示唆を得るために、現地調査により現状を報告し、課題を上げる。

4. 研究成果

(1) 建物復興曲線を用いた復興過程の比較

都市の復興過程を定量的に記述するため、台湾の集集鎮を対象とした既往研究(④)(図1)に基づき、2004年インド洋津波による被災3カ国の恒久住宅の建物再建データを用いて、建物復興曲線を構築した。そのために、建物の建設竣工数の累積値は時間軸に沿った累積正規分布で表せると仮定した。研究の結果得られた各国の建物復興曲線の媒介変数と復興曲線を表1と図2に示す。

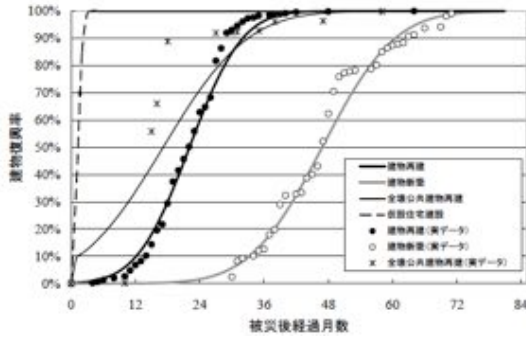


図1 集集鎮における建物復興曲線(④)

表1 被災3カ国における復興住宅建設状況の比較

	Sri Lanka	Thailand	Indonesia
Mean (λ)	8.2	14.0	28.8
Standard deviation (ζ)	1.9	5.6	8.2
Coefficient of determination (R^2)	0.96	0.76	0.92
Time period of most building construction (2ζ)	3.8	11.3	16.4
Completion time of the 1st permanent housing site	April 2005	March 2005	Dec. 2006
50% completion time	Aug. 2005	Feb. 2006	April 2007
90% completion time	Oct. 2005	Sep. 2006	March 2008

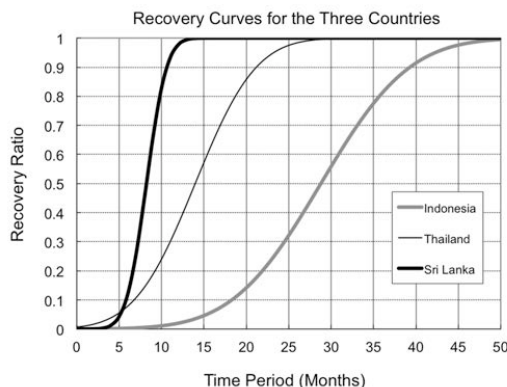


図2 被災3カ国における建物復興曲線の比較

最初の復興住宅が完成した時期は、スリランカが2005年4月、タイが2005年3月とほぼ同時期であるが、インドネシアは2006年12月と被災から2年が経過した時期であったことがわかる。また全復興住宅の半分が建設されたのは、スリランカが最も早く被災から8.2ヶ月後、タイが14.0ヶ月後であり、最も遅いインドネシアではタイの倍以上の28.8ヶ月が経過した頃であった。被災面積の規模とそれに伴う街としての深刻さ、被災者数や建物被害数などが大きな影響を与えていたようである。

一方、集集鎮の復興過程(図1)をみると、公共建築物は17.2ヶ月後、所有者の土地における建て替えは22.1ヶ月後、別の土地における新築は46.9ヶ月後に建設のピークを迎えており、新築住宅についてはインド洋津波の被災地での復興が集集よりも18ヶ月以上早かったことが明らかになった。

(2) アチェ州における復興の地域性評価

前述した復興曲線手法を用いて、インドネシアのアチェ州被災地における復興の地域性の比較分析を行った。そのために、被害量、産業形態、復興の概要、各自治体の復興マスタープランにみる基本方針を整理し、復興マスタープランの基本パターン(図3に一部抜粋)を導き、地域間に見られる特徴および課題を明らかにした。

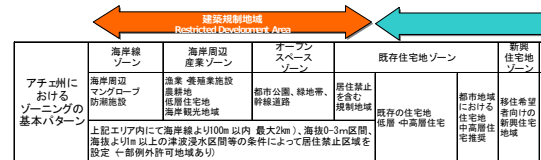


図3 アチェ州復興マスタープランの基本パターン

その結果、住宅復興過程は、住宅における被害量や復興予定量と密接に関連しているものの、アチェ・ジャヤ県やシムル県の事例のように、被災早期の段階で復興の基本方針を固め、ある程度の現地復興と集団移転事業を実施可能な受け皿があれば、同一の復興予定量を抱える地域でも顕著な差が生じることを確認できた。一方、バンダ・アチェ市、大アチェ県のように集団移転事業の受け皿はあるものの、復興の基本方針を固めるために多くの時間を費やしてしまった結果、復興全体のペースが遅れてしまう事例も見られた。さらに、ピディ県の事例は、漁業・農業などの他の復興指標と連動して住宅復興過程が遅延する可能性も示唆している。

(3) 復興モニタリングによる復興の検証

本研究の主な対象地である2004年インド洋津波被災地では2015年度までの11年あまり、1999年台湾地震被災地の集集では17年あまり、復興のモニタリングをしてきたこと

になる。本研究プロジェクトでは、復興によって変わった被災地の変化を継続的な現地調査によってモニタリングした。ここでは、その事例として、バンダ・アチェにおける津波避難の現状と、スリランカの復興住宅地における住民ヒアリング調査に基づく知見について述べる。

①アチェにおける津波避難ビル活用状況

津波後の復興では、その後の津波リスク軽減のために津波避難ビルを設置することも少なくない。しかし、建設するだけでなくその後の運用についての配慮も不可欠である。そこで、2004年の津波によって甚大な被害を受けたアチェ州で復興事業として建設された8箇所津波避難ビルの活用状況を比較した(図4)。その結果、以下の3点の教訓が得られた。

【津波避難ビル活用を前提とした設計】

我が国では、津波避難ビルの整備は、沿岸部周辺に立地する既存の中高層建築を後付けで指定するか、避難の機能のみを持つタワーを設置することが主となっている。しかし、避難場所としての機能を十分に発揮させるには、アチェ州の事例のように、設計段階から、複合的な機能を持たせることが望ましい。

【屋上避難までの経路の確保】

アチェの事例では、有人・無人施設に関らず、津波避難ビルの屋上避難スペースまで経路は常に開放されている状態にあった。我が国でマンション等を津波避難ビルとしている場合は避難経路を常に開放することは、保安上の問題から難しいところであるが、建物内部を経由しない独立した避難階段を設ける等、代替的な対策を検討する必要はある。

【長期的な維持管理体制の確立】

アチェでの実際の利用実態をみると、常駐員の有無に関らず、被害の大きかった西海岸地域の事例については、津波避難ビルとして安全に機能できる状態に保たれていた。一方で、被害の少なかった東海岸地域では、設置からまだそれほど時間が経っていないにもかかわらず、破損や汚れが激しく、津波避難ビルとしての利用に耐えかねる状況にあった。被害の大小による防災施設に対する意識の違いが明確にみえた結果となったが、こうした防災設備の長期的な維持管理方法は今後検討すべき重要課題のひとつである。



図4 バンダ・アチェの津波避難ビルと落書のある屋上

②スリランカ復興移転先での生活再建状況

津波復興後の被災者の生活上の課題や復

興施策を検証するために、復興施策により開発された復興住宅地に住む被災者およそ50人に聞き取り調査を行ったところ、以下の点が明らかになった。

【住宅ドナーによる住宅環境の違い】

2004年インド洋津波後、各国の被災地では様々なNGO等組織による住宅供給が行われた。しかし、ドナーの住宅提供に関する意識や、資金状況に応じて、建設された住宅の質は異なり、その違いが復興の時間の経過とともに大きな差となって表れてきた。例えば、図5左は台湾の慈済基金会により提供された住宅である。慈済基金会による復興住宅は、丁寧に造られており、住民からの不満はあまり聞かれなかった。一方、写真1右の住宅は某NGOによるもので、年を追うごとに老朽化が進み、その修復もままならないまま、被災者は工夫しながら住んでいた。



図5 復興住宅(左:慈済基金会、右:某NGO)

【時間の経過にともなう住宅地環境の変化】

ハンバントタに建設された慈済大愛村は、道路やインフラなどの公共空間も良く整備されており、多くの被災者からは満足しているとの回答が得られた。慈済基金会は、被災者が生活を始めた後も、将来的な生活の質の向上のために、道路などを延長整備する計画を立てていたが、状況が変わってきた。

ハンバントタは、国際空港や国際フェリーターミナルの建設など今後の展開を見込んで、開発されている地域である。その財政援助を担ったのが、中国であった。地域全体に関連する開発に中国が算入してきたため、台湾を拠点としている慈済基金会は恒久住宅地の開発から撤退してしまい、その結果、住民らが期待した更なる公共空間の整備は頓挫してしまった。

【内陸部移転による安心感と生活上の支障】

常に津波後の復興で問題となるのが、移転による安全性の確保と生活上の支障である。調査の結果、全ての被験者が2004年時点で津波というものを知らなかった。また数名を除き、ほとんどの方が、内陸部に移転をした結果、安心して家族と住めるようになったと回答した。その一方で、移転をした結果、にぎやかな沿岸部で商売をするための日々の移動に時間と費用がかかり、生活の質が著しく悪くなったという被災者が、多数を占めた。

(3) 沿岸災害によるリスク評価手法の提案

近年、地球温暖化の進行により海面水温の上昇が危惧されている。ここでは、2013年11月に発生した台風ヨランダにより被災したフィリピンのバセイを対象地として、高潮と強風による建物被害の分析を行った。

高潮による建物被害については、JICAから提供された建物被害データを用いて分析を行い、海岸線からの距離と被害の関係(図6)を明らかにし、被害関数を導いた。

強風による建物被害分析については、2度にわたる建物被害実地調査に基づき、内陸部に立地している建物の属性データを収集し、ベースマップを作成し、5段階の強風被災度ランクを用いた分析を行った。その結果、RC造よりも木造の方が被害の大きかったことが明らかになった。また、建物階数、構造種別、海岸線からの距離を変数としたロジスティック回帰分析を行った結果、構造種別による影響度が最も高く、RC造に対する木造の「顕著な被害以上」になる確率が3.7倍になることがわかった(表2)。そして、海岸線からの距離による影響も見られた。これはJICAデータを用いた海岸線からの距離による被災への影響とも整合性がとれていた(図6)。一方、階数による有意な差は得られなかった。

表2 ロジスティック回帰分析に基づくモデル

変数名	回帰係数	標準誤差	P-値	オッズ比
切片	2.920	1.254	0.020	-
構造種別	1.296	0.324	0.000	3.656
海岸線からの距離	-1.158	0.248	0.000	0.314

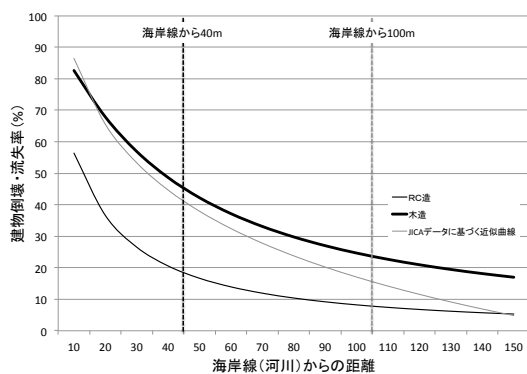


図6 海岸線(河川)からの距離と建物被害の関係

(4) 沿岸部の海面上昇リスク状況の把握

地球温暖化による海面上昇が深刻な問題となっているベンガル・デルタ地域(ベンガラデシュのダッカ管区、クルナ管区)における政府、NGO、住民による取り組みについて調査した。海面上昇という脅威に対し、①そこから退避する、②抑止する、③順応するという3つの基本的な戦略があるが、この地域では環境の変化に対して③順応して、取り組

んでおり、海面上昇のリスクに直面している同様の地域に対して、将来に向けたひとつの方向性を示していた。主なポイントは以下の通りである。

①ポッダ川

インドから流れ込む大河ポッダ川(ガンジス川)では、海面上昇により削られた岸辺の砂が川の中央部に堆積し、新たな陸地が形成されている。居住可能な土地が不足しているこのあたりでは、今後この地に移住しようとしている人々もいる。

②低平地におけるCARE(NGO)の取り組み

クルナ管区のシャトキラより南部の地区は低平地であり、一年の半分は洪水のため、嵩上げた道路(図7)以外は浸水している。そのような地域で、CAREは嵩上げた住宅やトイレの提供支援を続けている。



図7 浸水しないよう嵩上げされた低平地の道路

③住民の取り組み

ベンガル湾に面したシュンドルボン国立公園に近いコイラ地区は、海面上昇により水が塩化している地域である。そうした中、住民は工夫を凝らし、生活をしている。例えば、排水ポンプを用いて、海面上昇により湾から入ってきた塩水を排水している。当該地区では夏期になると大雨が降り、恒常的に水が塩化する。従来は稲作地として土地が利用されてきたが、近年では、塩化した浸水域でエビの養殖をする農家も増えてきた。しかし、そこで問題になるのが、土地の季節ごとの使い分けである。それに対応するために、地中深くに達する排水用ポンプを整備し、季節による土地塩化の変化に対応させ、稲作とエビの養殖を制御している農家もいた。

<参考文献>

- ① White, G., and Haas, E.: Assessment of Research on Natural Hazards, Cambridge, MIT press, 1975.
- ② Mileti, D.: Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States, Joseph Henry Press,

Washington D. C., 11, 1999.

- ③ 村尾修:1999年台湾集集地震後の集集鎮における空間的変容と復興再建過程, 日本建築学会計画系論文集, No. 607, 95-102, 2006.9
- ④ 村尾修, 満田弥生:集集鎮における1999年台湾集集地震の建物復興曲線, 都市計画報告集 No.5-4 (CD-ROM), 101-104, 2007.4

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計31件)

- ① 村尾修, 薄田拓磨, 杉安和也, 花岡和聖: 2013年台風ヨランダによる建物被害評価 フィリピン・サマル島バセイを対象として, 日本建築学会計画系論文集, 第81巻, 第725号, 1541-1548, 2016.7 (査読有)
- ② 村尾修:1999年台湾集集地震からの復興 -集集 2015 夏-, 日本地震工学会誌, No.26, 21-24, 2015.10
- ③ 村尾修:2004年インド洋津波被災地の現在 -スリランカ・タイ・インドネシア-, 日本地震工学会誌, No.26, pp.25-28, 2015.10
- ④ 藁袋奈美子, 村尾修:ガイドラインのまちづくりへの展開、市民理解・合意のための住教育, 2015年度日本建築学会大会(関東), 気候変化による災害防止に関する特別調査委員会パネルディスカッション「気候変化による災害を防止する建築・都市・地域のガイドラインづくりに向けて」資料, 日本建築学会, 50-55, 2015.9
- ⑤ 村尾修:元集集鎮長 林明溱, 建築雑誌, Vol.128, No.1646, 53, 2013.6
- ⑥ 杉安和也, 村尾修:アチェ州における2004年インド洋津波以降の津波避難ビル活用状況の比較, 日本建築学会技術報告集, 第19巻41号, 299-302, 2013.2 (査読有)
- ⑦ 村尾修:タイにおける2004年インド洋津波被災地の復興状況調査報告 その2 -2011年10月時点におけるプーケット・カオラックの復興状況-, 都市計画報告集 No.11-1 (CD-ROM), 1-4, 2012.5
- ⑧ 杉安和也, 村尾修:2004年インド洋津波によるインドネシア被災地の都市復興マスタープランの比較と建物復興曲線, 日本建築学会計画系論文集, 第77巻, 第673号, 609-617, 2012.3 (査読有)
- ⑨ Murao, O., Sugiyasu, K., and Nakazato, H.: Study on Recovery Curves for Housing Reconstruction in Sri Lanka, Thailand, and Indonesia after the 2004 Indian Ocean Tsunami, Proceedings of the 10th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USB), 8p, 2011.10

[学会発表] (計21件)

- ① Murao, O.: "Development of Fragility Curves based on Building Damage in Sri Lanka due to the 2004 Indian Ocean Tsunami," Tsunami Group Training Sessions for SATREPS Project Colombia: Application of State of the Art Technologies to Strengthen Research and Response to Seismic, Volcanic and Tsunami Events, and Enhance Risk Management, 2015.10.22-23, Bogota, Colombia
- ② Murao, O.: "Lessons Learnt from the 2011 Great East Japan Earthquake and HFA IRIDeS Review Report," Proceedings of the 4th Annual International Conference (AIC2014) in conjunction with 9th Annual International Workshop and Expo on Sumatra Tsunami Disaster and Recovery (AI-WEST-DR), 2014.11.22-24, Banda Aceh, Indonesia
- ③ Murao, O.: Ten-year Post-tsunami Living Conditions in Southwestern Coastal Area Resettlements of Sri Lanka after 2004 Indian Ocean Tsunami, Proceedings of the 13th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, 2014.11.3-5, Yangon, Myanmar
- ④ 村尾修, エムデイ・フォエズ・シャー, フォイブル・ハーク:ベンガル・デルタ地帯における海面上昇の影響に関する調査報告, 地域安全学会第32回研究発表会, 2013.5.17-19, 秋田県, 男鹿市

[図書] (計3件)

- ① 目黒公郎, 村尾修: 地域と都市の防災, 放送大学教育振興会, 292, 2016.3
- ② Murao, O.: Chapter 6 "Post-tsunami Urban Recovery Process and Current Conditions in Sri Lanka, Thailand, and Indonesia," Recovery from the Indian Ocean Tsunami: A Ten Years Journey, 73-88, 503, Springer, 2014.10
- ③ 村尾修: 建築・空間・災害, リスク工学シリーズ10, コロナ社, 172, 2013.9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村尾 修 (MURAO, Osamu)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号: 70292753