

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2014

課題番号：22404011

研究課題名(和文) アジア・アフリカ地域における沿岸災害脆弱性変容の調査

研究課題名(英文) A survey of coastal disaster changes in Asia and Africa

研究代表者

柴山 知也 (Shibayama, Tomoya)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40143391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：2010年のチリ地震津波、同年のスマトラ島沖地震津波(メンタワイ諸島)、2012年のハリケーン・サンディー高潮(米国ニューヨーク)、2013年の台風ヨランダ高潮(フィリピン国レイテ島)などの海外で発生した沿岸域災害の調査を実施し、被災機構を解明した。近年の沿岸域土地利用の高密度化と輻輳化、さらに高潮の場合には地球気候の変動による台風の巨大化が大きな被害をもたらしていることが解った。

高潮、高波被害の将来予測を行うために、気候モデルに基づいた高潮・高波数値モデルを開発し、インド洋、北太平洋などに適用した。温暖化後の変化について検討し、高潮の規模が拡大する可能性が高いことを指摘した。

研究成果の概要(英文)：Field surveys of coastal disasters are performed for Chilean tsunami (2010), a tsunami in Mentawai islands in Indonesia (2010), a storm surge due to Hurricane Sandy (2012) in New York City in USA, and a storm surge due to Hurricane Haiyan (2013) in the Philippines. Based on the field survey results, basic mechanisms of disaster are analyzed. Recent changes of land use in the areas to be more complicated and dense, local effects of global climate change give important effects to increase of total losses.

A new storm surge model consists of sub-models of local climate, ocean dynamics, and tidal motion is developed. The model gives good hind-casting results compared to the recent storm surge events including Sandy, Haiyan, Nargis, Sidr and Japanese storm surges. The model is applied to future predictions of storm surge under global warming in Indian Ocean and north part of Pacific Ocean. There are good possibility that the future storm surge will be bigger in these areas.

研究分野：海岸工学

キーワード：津波 高潮 途上国 環境変動 減災

1. 研究開始当初の背景

研究開始時には、地球温暖化による気候変動が地域の災害に及ぼす影響が顕在化しつつあった。気候変動や途上国の経済成長による土地利用の変化がもたらす、地域における沿岸域災害の変化機構を、地域での観察をもとに把握し、高潮、高波、津波などの激甚化の予測とそれへの有効な対策を考案しようと考えた。

2. 研究の目的

世界各地の沿岸域災害機構の変化とそれへの有効な対策を考案することを目的としている。このため、沿岸災害が発生した場合にはその調査を行うとともに、それぞれの地域の環境変動を具体的に検討するために数値予測モデルの開発を目指した。

3. 研究の方法

研究期間中に海外において沿岸域災害が起きるとすぐに調査に赴き、災害調査を行った。それらは 2010 年のチリ地震津波、同年のスマトラ島沖地震津波（インドネシア・メータワイ諸島）、2012 年のハリケーン・サンディ高潮（米国ニューヨーク）、2013 年の台風ヨランダ高潮（フィリピン国レイテ島）である。

一方で、沿岸地域の災害環境の変化の経過を正確にとらえ、減災の目的を達成するには、各国の海岸工学研究者との密接な共同研究が不可欠である。本研究ではタンザニア、イラン、インドネシア、タイ、スリランカ、ベトナム、カナダ、中国、韓国のそれぞれの若手の代表的な研究者と密接に連携することで研究を進めた。

また、高潮、高波被害の将来予測を行うための、気候モデルに基づいた高潮・高波数値モデルを開発した。このモデルを北西太平洋、インド洋などに適用して、その妥当性を確かめた。

4. 研究成果

(1) チリ地震津波

2010 年 2 月 27 日 3 時 34 分（現地夏時間）、チリ中部沿岸で Mw8.8（気象庁）の地震が発生した。この地震に伴って発生した津波は、チリ沿岸の広範囲にわたって被害をもたらした。

チリでは、沿岸域の大陸棚上や湾内にトラップされた津波が、場所によっては 4 時間以上の長時間にわたって何度も襲ってきた。地震発生は深夜であったため、住民は暗闇の中、長時間の避難を強いられることとなった。

津波の浸水高さは、図 1 に示すように広い範囲で 4-10m 程度であった。浸水高さが比較的小さく、自然砂丘をもつ地域では、これらの砂丘が津波の侵入を防ぐ効果が見られた。遡上高さは、最大で 20m を超えていることが分かった。15m を超える遡上高さはいずれも海岸線付近の急斜面で記録したものであり、

局所的な地形の条件により高さを増したと考えられる。

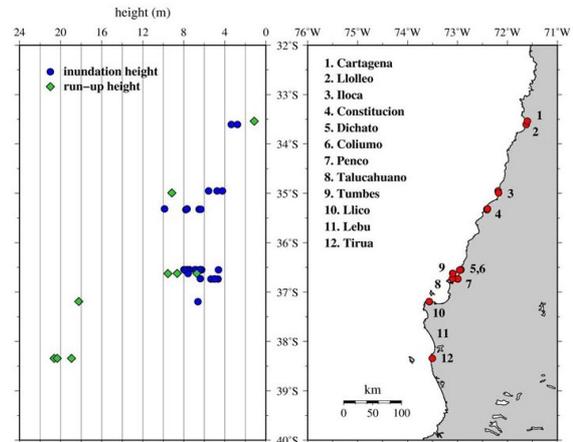


図 1 チリ沿岸の津波高さの計測結果

調査によって判明したチリでの津波の規模は、例えば 2004 年インド洋津波でのスリランカ南部での津波の規模に匹敵するものである。しかし、スリランカでは死亡者の数が 3 万人以上にのぼるのに対し、チリでは数百人程度に抑えられていた。この理由としては、下記の 2 点が考えられる。それらは 地震の規模が大きく、揺れが大きかったため、住民にとって具体的に津波の来襲を感じることができたこと、1960 年チリ地震津波、2004 年インド洋津波を契機として、沿岸で生活する住民の間に津波に関する知識が広く行き渡っており、多くの住民が高台に避難したことである。ただし、Constitucion のように沿岸にキャンプをしに来た人たちが被災する例もあり、その土地に不慣れな人にも避難を促すような取り組みも必要である。

(2) メンタワイ地震津波

2010 年 10 月 25 日に発生したメンタワイ地震津波では、南パガイ島、北パガイ島、シポラ島を中心に津波による被害が生じた。これらの島では、救援の手が届きにくい離島であること、震源域に近く地震を感じてから津波が到達するまでの時間が短いこと、サーファー等の島外から訪れる人がいる可能性が高いこと、などの固有の状況を考慮して津波に備える必要がある。

Bosua では、約 300m 内陸まで津波が到達し、浸水域内の家屋のほとんどが破壊されていたが、住民は道沿いに内陸まで避難し、人的被害はなかった。Old-Gobik では、集落が湿地に囲まれており高地へと逃げる道がなく、10 名もの被害を出したため、集落は移転を余儀なくされていた。Masokut では、集落の北側を流れる川と南側にある砂丘の切れ目から津波が侵入し、8 名の被害を出した。Bere-Berilou では、調査した他の集落より津波痕跡高は低かったが、海岸から下り勾配の

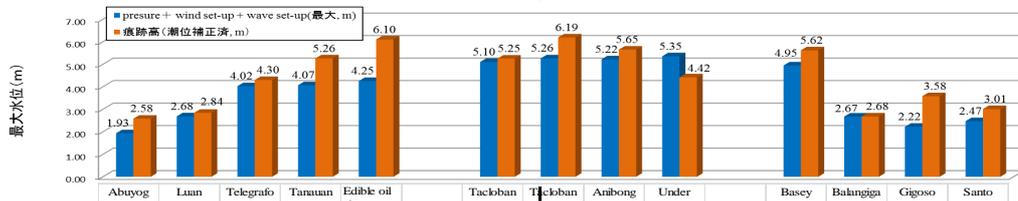


図2 Yolanda 高潮の実測値と算定値の比較

低地が続いており、約 300m 内陸まで津波が到達し、約 100m 内陸までの範囲で家屋等への被害が大きかった。調査時には、津波への備えや避難時の行動について住民から聞き取りを行った。聞き取りは 7 名にしか行うことが出来なかったが、Bosua と Masokut では津波に関する教育や避難訓練を行っていたこと、7 人中 5 人が津波の第一波の襲来を目にしてから避難したこと、などが明らかとなった。

(3) ハリケーン・サンディの高潮

2012 年 10 月に発生したハリケーンサンディ(Sandy)は、10 月 29 日夜(現地時間)にニュージャージー州に上陸した。サンディの接近に伴い、10 月 29 日から 30 日にかけて、ニューヨーク州やニュージャージー州の沿岸部において高潮災害が発生した。ニューヨーク州マンハッタン地区では、変電所の浸水による停電や地下鉄を含む地下空間の浸水などの被害が生じた。11 月 2 日時点でニューヨーク市内の約 460,000 人が停電の影響を受けており、その約半数がマンハッタン地区の住民であった。地下鉄は 11 月 3 日までに大部分が運行を再開したものの、一部路線ではその後も運休を続けている。ニューヨーク市長による浸水する可能性の高い地域の住民への強制避難の措置により、大規模な人的被害の発生は免れたが、都市機能には大きな被害が生じた結果となった。

ハリケーン・サンディによる高潮被害を受けたニューヨーク州マンハッタン地区とスタテン島で現地調査を実施し、被害情報を収集した。浸水高は、マンハッタン地区では 2.5m から 3m、スタテン島では 4m 前後であった。マンハッタン地区では地下空間への浸水被害が生じ、地下鉄の一部路線は依然復旧作業中であった。これらの調査結果やウェブ上で収集した情報をもとに、ニューヨーク市で発生したことを整理し、日本の臨海都市域での浸水災害を考える際に検討すべき項目として、地下空間における浸水災害の評価、人的被害軽減のための措置、異なる浸水形態(高潮と津波)の想定 3 つを考察した。日本では東京をはじめとした臨海都市域での大規模な浸水災害を近年はあまり経験していない。ニューヨーク市での経緯を注意深く観察し、情報を分析して具体的な減災策へと活かしていく必要がある。

(4) フィリピンの高潮

2013 年 12 月にフィリピン高潮被害現地調査を行った。この調査では、高潮最大浸水高と遡上高を計測し、現地で生じた高潮被害を住民などの聞き取りなどから分析した(柴山ら、2014; 高木ら、2014; Esteban Miguel ら、2014)。また、数値解析結果と柴山ら(2014)の現地調査結果を比較し、開発した気象・高潮統合モデルの優位性を示すことも目的とした。フィリピン周辺における地形データの精度が低いという制約条件にも関わらず、本論文の高潮モデルはフィリピンで生じた高潮の傾向とその最高到達点を精度よく計算している(図 2)。WRF-FVCOM-SWAN-WX-tide の結合高潮モデルの高潮再現精度は高く、今後他の高潮研究にも使用できると考えられる。今後の方向性として、より大気物理学的に正しい計算をするために、TC-Bogus ではなくデータ同化手法を使用して、台風・高潮数値計算の高精度化を図ることが考えられる。また、FVCOM の精度をより精度の高い地形データが存在する場所においても検証する必要がある。

(5) 数値モデルの開発

(4)でも述べたように、WRF、FVCOM、浅海域波浪推算モデルの SWAN(Booji ら、1999)、データ同化潮位推定モデルの WX-tide(Flater、1998) から構成される高潮数値解析モデルを用いて、図 3 に示すような高潮を推算するモデルを提案した。このモデルに温暖化後の気象条件を入力することにより、環境変動による高潮の強化を予測することができた。

気象—海洋—潮汐—気候変動 統合高潮モデル WRF-FVCOM-Xtide-MIROC5

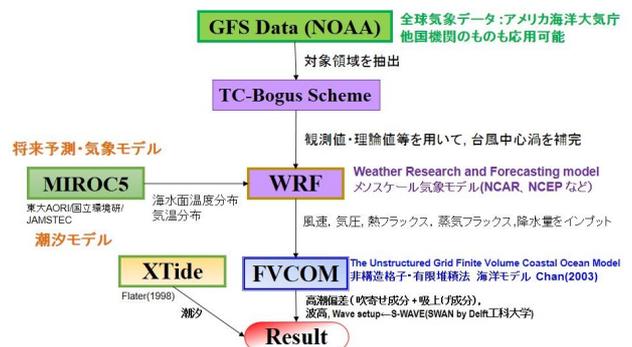


図3 数値モデルの開発

(6) 環境変動の把握

2014年9月16日に早稲田大学理工学術院会議室において研究連絡会を開催し、カナダ、ベトナム、インドネシア、アメリカ、韓国、タイ、バングラデシュ、スリランカ、タンザニア、ブータン、チリ、中国などでの沿岸環境と災害について、それぞれのおかれた条件についての報告を受けた。これを受けて諸国の違いを検討するとともに、その共通性について議論した。一方でバングラデシュ、ミャンマー、インドの高潮被害についてその脆弱性を検討し、異なる準備状況と与えられた自然条件が、人的被害の多寡を決定していることが解った。

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20件)すべて全文査読有

Esteban, M., Valenzuela, V. P. Yun, N. Y., Mikami, T., Shibayama, T., Matsumaru, R., Takagi, H., Thao, N. D., De Leon, M., Oyama, T. & Nakamura, R. (2015): Typhoon Haiyan 2013 Evacuation Preparations and Awareness, *Inter. Jour. of Sustainable Future for Human Security*, accepted in press.
<http://www.j-sustain.com/index.php>

Soltanpour, M., Haghshenas, S. A. & Shibayama, T. (2015): A two-dimensional experimental-numerical approach to investigate wave transformation over muddy beds, *Ocean Dyn.*, 65(2), 295-310.
DOI:10.1007/s10236-014-0797-3

St-Germain, P., Nistor, I., Townsend, R. & Shibayama, T. (2014): Smoothed-Particle Hydrodynamics Numerical Modeling of Structures Impacted by Tsunami Bores, *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, 140(1), 66-81.
DOI:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000225

Tasnim, K. M., Shibayama, T., Esteban, M., Takagi, H., Ohira, K. & Nakamura, R. (2014): Field observation and numerical simulation of past and future storm surges in the Bay of Bengal: case study of cyclone Nargis, *Natural Hazards*, 75(2), 1619-1647.
DOI:10.1007/s11069-014-1387-x

Esteban, M., Jayaratne, R., Mikami, T., Morikubo, I., Shibayama, T., Thao, N., Ohira, K., Ohtani, A., Mizuno, Y., Kinoshita, M. & Matsuba, S. (2014):

Stability of Breakwater Armour Units Against Tsunami Attack, *Jour. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, 140(2), 188-198.
DOI:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000227

Mikami, T., Shibayama, T., Esteban, M., Ohira, K., Sasaki, J., Suzuki, T., Achiari, H. & Widodo, T. (2014): Tsunami vulnerability evaluation in the Mentawai islands based on the field survey of the 2010 tsunami, *Natural Hazards*, 71(1), 851-870.
DOI:10.1007/s11069-013-0936-z

Aranguiz, R., Shibayama, T. & Yamazaki, Y. (2014): Tsunamis from the Arica-Tocopilla source region and their effects on ports of Central Chile, *Natural Hazards*, 71(1), 175-202.
DOI:10.1007/s11069-013-0906-5

中村亮太・大山剛弘・柴山知也・松丸亮・高木泰士・Miguel Esteban・三上貴仁 (2014): Typhoon Yolanda によるフィリピンの高潮被災と現地調査の比較, *土木学会論文集 B2 (海岸) B2, Vol.70, No.2, I_236-I_240*.
DOI:10.2208/kaigan.70.I_236

柴山知也・松丸 亮・高木泰士・Mario P. de Leon・Esteban Miguel・三上貴仁・大山剛弘・中村亮太 (2014): 2013年台風Yolanda (Haiyan) による高潮災害の調査と分析, *土木学会論文集 B3 (海洋開発) B3, Vol.70, No.2, I_1206-I_1211*.
DOI:10.2208/jscejoe.70.I_1212

Aranguiz, R. & Shibayama, T. (2013): Effect of Submarine Canyons on Tsunami Propagation: A Case Study of the Biobio Canyon, Chile, *Coastal Engineering Journal*, 55(4), 1350016 (23pages).
DOI:10.1142/S0578563413500162

Esteban, M., Tsimopoulou, V., Mikami, T., Yun, N. Y., Suppasri, A. & Shibayama, T. (2013): Recent Tsunamis Events and Preparedness: Development of Tsunami Awareness in Indonesia, Chile and Japan, *Inter. J. of Disaster Risk Reduction*, 5, 84-97.
DOI:10.1016/j.ijdrr.2013.07.002

Shibayama, T., Esteban, M., Nistor, I., Takagi, H., Nguyen, D. T., Matsumaru, R., Mikami, T., Aranguiz, R., Jayaratne, R. & Ohira, K. (2013): Classification of Tsunami and Evacuation Areas, *Natural*

Hazards, 67(2), 365-386.
DOI:10.1007/s11069-013-0567-4

三上貴仁・松葉俊哉・柴山知也 (2013): 津波越流時の堤防周辺における流体運動の分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, I_991-I_995.
DOI:10.2208/kaigan.69.I_991

三上貴仁・柴山知也・Miguel Esteban (2013): 2012年ハリケーンサンディによる高潮災害のニューヨークにおける現地調査に基づく臨海都市域の浸水災害と減災策に関する考察, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, I_982-I_987.
DOI:10.2208/jscejoe.69.I_982

Esteban, M., Takagi, H. & Shibayama, T. (2012): Modified Heel Pressure Formula to Simulate Tilting of a Composite Caisson Breakwater, Coastal Engineering Journal, 54(4), 1250022 (21pages).
DOI:10.1142/S0578563412500222

三上貴仁・柴山知也 (2012): 乱流モデルを用いた幅の広いリーフ上での津波挙動の数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, I_76-I_80.
DOI:10.2208/kaigan.68.I_76

大平幸一郎・柴山知也・Miguel Esteban (2012): 気候変動の影響を受けた台風による波浪・高潮被害の変化予測 気象・波浪・高潮・潮汐統合モデルの開発と長期予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, I_291-I_295.
DOI:10.2208/kaigan.68.I_291

Takagi, H., Kashihara, H., Esteban, M. & Shibayama, T. (2011): Assessment of Future Stability of Breakwaters under Climate Change, Coastal Engineering Journal, 53(1), 21-39.
DOI:10.1142/S0578563411002264

三上貴仁・柴山知也・武若 聡・Miguel Esteban・大平幸一郎・Rafael Aranguiz・Mauricio Villagran・Alvaro Ayala (2011): 2010年チリ沖地震津波災害の現地調査, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.67, No.2, I_529-I_534.
DOI:10.2208/jscejoe.67.I_529

柴山知也・三上貴仁・松丸亮・高木泰士・Faainuseiamalie Latu (2010): サモア諸島沖地震津波の調査と分析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, 1376-1380.
DOI:10.2208/kaigan.66.1376.

[学会発表](計19件)

Tasnim, K. M., Ohira, K., Shibayama, T. & Esteban, M. (2014): Numerical Simulation of Cyclonic Storm Surges over the Bay of Bengal Using a Meteorology -Wave-Surge-Tide Coupled Model, Proc. of the 34th Inter. Conf. on Coastal Eng. (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Matsuba, S., Mikami, T., Jayaratne, R. & Shibayama, T. (2014): Analysis of Tsunami Behavior and the Effect of Coastal Forest in Reducing Tsunami Force around the Coastal Dykes, Proc. of the 34th Inter. Conf. on Coastal Engineering (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Jayaratne, R., Abimbola, A., Mikami, T., Matsuba, S., Esteban, M. & Shibayama, T. (2014): Predictive model for scour depth of coastal structure failures due to tsunamis, Proc. of the 34th Inter. Conf. on Coastal Eng. (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Aranguiz, R., Villagran, M., Esteban, M. & Shibayama, T. (2014): Tsunami Resonance in the Bay of Concepcion, Chile, Proc. of the 34th Inter. Conf. on Coastal Engineering (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Esteban, M., Mikami, T., Shibayama, T., Takagi, H., Jonkman, S. N. & Ledden, M. V. (2014): Climate change adaptation in Tokyo Bay: The case for a storm surge barrier, Proc. of the 34th Inter. Conf. on Coastal Eng. (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Mikami, T., Matsuba, S. & Shibayama, T. (2014): Flow Geometry of Overflowing Tsunamis around Coastal Dykes, Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), June 17-20, 2014, Seoul, Korea.

Mikami, T. & Shibayama, T. (2013): Numerical analysis of tsunami flow around coastal dyke, Proc. of the 7th Inter. Conf. on Asian and Pacific Coasts (APAC), Sep. 24, 2013, Bali, Indonesia, 654-659.

Tasnim, K. M., Ohira, K. & Shibayama, T. (2013): Numerical simulation of tropical cyclone Nargis by using osis model: Hind casting of historical cyclone as well as prediction of future storm surges, Proc. of Inter. Se. in Conf. of Coastal Eng., JSCE, Vol.4, 11-15, Nov. 13-15, 2013, Fukuoka, Japan.

Esteban, M., Mikami, T., Takagi, H., Mizuno, Y., Matsuba, S., Kinoshita, M., Jayaratne, R. & Shibayama, T. (2013): Resilience of shallow water small fishery port breakwaters during the 2011 Tohoku Tsunami, Proceedings of International Sessions in Conference of Coastal Eng., JSCE, Vol.4, 16-20 Nov. 13-15, 2013, Fukuoka, Japan.

Esteban, M., Tsimopoulou, V., Mikami, T., Yun, N. Y., Suppasri, A. & Shibayama, T. (2013): Analysis of multi-layer safety in countries affected by recent tsunamis: Emergence of a global tsunami culture, Proc. of the 7th Inter. Conf. on APAC, Sept. 24, 2012, Bali, Indonesia, 444-449.

Tasnim, K. M., Ohira, K. & Shibayama, T. (2012): Numerical Simulation of Cyclone SIDR Using a WRF-SWAN-Surge-Tide Coupled Model, Proceedings of International Sessions in Conference of Coastal Engineering, JSCE, Vol.3, 1-5, Nov. 14-16, 2012, Hiroshima, Japan.

Ohira, K., Shibayama, T., Esteban, M., Mikami, T., Takabatake, T. & Kokado, M. (2012): Comprehensive numerical simulation of waves caused by typhoon using a meteorology-wave-storm surge-tide coupled model, 33rd Inter. Conf. on Coastal Eng. (ICCE), July, 2-6, 2012, Santander, Spain.

Esteban, M., Rafael A. M., Morikubo, I., Mikami, T., Nguyen, D. T., Ohira, K., Ohtani, A. & Shibayama, T. (2012): Stability of rubble mound breakwaters against solitary waves, 33rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE), July, 2-6, 2012, Santander, Spain.

Mikami, T. & Shibayama, T. (2012): Numerical analysis of tsunami propagation on wide reef platform, 33rd Inter. Conf. on Coastal Eng., (ICCE), July, 2-6, 2012, Santander Spain. (poster)

Esteban, M., Takagi, H. & Shibayama, T. (2011): Sea level rise and increase in rubble mound breakwater damage, Proc. of the 6th Inter. Conf. on Coastal Structures, Sep. 5-9, 2011, Yokohama, Japan, 130-140.

Shibayama, T., Aoki, Y. & Takagi, H. (2011): Numerical analysis and field survey of flood behavior of storm surge due to cyclone Nargis in Myanmar, Proc. of the 6th Inter. Conf. on Coastal Structures, Sep. 5-9, 2011, Yokohama, Japan.

Mikami, T., Shibayama, T., Matsumaru, R., Takagi, H., Latu, F. & Chanmow, I. (2011): Field survey and analysis of tsunami disaster in the Samoan Islands 2009, Proc. of the 6th Inter. Conf. on Coastal Structures, Sep. 5-9, 2011, Yokohama, Japan, 1325-1336.

高島知行・柴山知也 (2010): スリランカにおける高潮危険予測, 第18回地球環境シンポジウム, 2010年8月27日、諏訪東京理科大学.

Ohtani, A. & Shibayama, T. (2010): A dialogue analysis of consensus building meetings among experts of different disciplines, Annual Meeting of the Society for Social Studies of Science (4S), Aug. 28, 2010, Tokyo.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ
<http://www.f.waseda.jp/shibayama/>

6. 研究組織

(1)研究代表者
柴山 知也 (SHIBAYAMA, Tomoya)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 4 0 1 4 3 3 9 1

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
三上 貴仁 (MIKAMI, Takahito)
早稲田大学・理工学術院・講師
研究者番号: 8 0 7 3 2 1 9 8