

## 一般共同研究（ 課題番号：28G-04 ）

課題名：津波減災における統合的施策のリスクベース設計手法の開発

研究代表者：岡安 章夫

所属機関名：東京海洋大学

所内担当者名：多々納 裕一

研究期間：平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 30 年 3 月 31 日

研究場所：京都大学防災研究所および各研究機関

共同研究参加者数：17 名（所外 15 名，所内 2 名）

- ・大学院生の参加状況：2 名（修士 1 名，博士 1 名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [ 現地調査補助，浸水シミュレーションのセットアップ ]

研究及び教育への波及効果について

本研究は大規模津波を対象とした減災システムの構築を目的とした研究である。この研究には、従来の構造物による防災・減災のほか、長期にわたる社会減災構造の構築が必要であるとの認識のもと、海岸の物理的防護を扱ってきた海岸工学と社会構造や地域計画を扱ってきた土木計画学の 2 つの専門領域の知識を融合して行われた研究である。研究成果の社会実装についても考察することで、得られた知見を今後の地域減災計画に基本的考え方と枠組みを与え、今後の個別詳細かつ具体的な減災システムの構築に役立つものと評価できる。また、土木工学の分野ではこのような融合研究はあまり例がなく、その研究組織や運営を含めて、今後の土木工学における学際的融合研究の一例として評価できる。さらに、総合的・学際的な大学・大学院教育を実践していく上でも、良い実例を示したものと考えられる。

研究報告

### (1) 目的・趣旨

東日本大震災から 5 年、復興まちづくりが進む被災地において、まちづくりの外形を与える防潮堤の設置について、改めてそのまちづくりや景観等への影響について議論がなされている。防護施設設定の在り方について、津波防災・減災とまちづくりの双方の視点を生かした統合的な施策が必要である。本研究では、今後起こりうる巨大津波・高潮等に対する減災を、リスクに基づいて評価する統合的な施策の設計手法を開発する。従来、海岸構造物は、「波浪や高潮、津波などの生起確率あるいは既往最大をベースに、一定の防護レベルを満たすよう物理的な見地から設定」されてきた。それに対して、本研究では、「外力に対する許容量を後背地の活動の予測・計画を踏まえて決定していく」ための新たな方法論の構築を目指している。すなわち、津波に対する減災を考えるためには、津波の発生や津波の浸水・遡上高予測、防潮堤による被害軽減効果などの海岸工学の知識に加え、土地利用、避難計画、制度設計、地域の将来予測といった、土木計画をはじめとした社会科学の知見が必要になる。まちづくりに配慮した津波防護施設というのは、これまでの海岸保全施設整備の観点とは大きく異なるものである。

### (2) 研究経過の概要

3 年目は、「外力に対する許容量を後背地の活動の予測・計画を踏まえて決定していく」ための新たな方法論の構築を検討し、そのフローと解決すべき問題を整理した。このうち特に、3+ 津波の規模と生起頻度との関係の定量化手法（津波ハザードモデル）についての最先端研究の把握とその利用可能性の検討、4+ 減災のためのハード・ソフト施策の効果の定量化に対する都市均衡モデルの利用可能性の検討、5+ 整備すべき防潮堤高の検討に必要な情報と考え方の整理、について検討を行った。さらに、減災対策決定プロセス案を提案した。

4 年目は、純便益指標 D/E の最大化を用いて物理的津波防御レベルの設定を行うための方法について議論した。NB 津波が数十年から百数十年と幅があることに着目すれば、例えば、西日本では、再現期間 72 年程度（昭和南海級）、322 年程度（安政南海級）、372 年（宝永級）程度等の津波を想定し、それぞれに対して効率性基準を満たす範囲内で最も望ましい防御水準の選択方法について検討した。また、防御レベルを所与として、より費用対効果や実現可能性の高い案として、土地利用の規

制・誘導等の施策を含む総合的な減災施策を検討した。

### (3) 研究成果の概要

主要要素の具体的な適用方法と実効性の検討として、上記 1), 2), 3)のそれぞれについて、ケーススタディを通じた定量分析を行った。南海トラフ地震津波を想定し、静岡県あるいは高知県の一都市を対象としてケーススタディを行った。1) 津波水位の生起確率について確率津波の考え方を整理し、地震規模のスケーリング則（ゲーテンベルグ・リヒター則）と確率すべり分布を考慮した確率津波モデルの構築を行った。また、ロジックツリーモデルによる津波水位分布の確率推定について、モデルを構築した。2) 想定浸水域の変化によって企業立地や人口がどのように変化するか、静岡県を例に具体的な変動係数を算出した。3) 防護施設の粘り強さ等を考慮できるよう、構造物破壊プロセス（フラジリティカーブを適用した確率破壊過程）を津波浸水モデルに反映させ、高知県を例に浸水評価を行った。

防災とまちづくりの二つの観点から最適な防潮堤高を設定する方法が望ましいと考え、費用便益分析を用いてその方法と課題について検討した。南海トラフ地震津波による被害が想定されている観光業を生業とする静岡県の一都市を対象に、防潮堤嵩上げによって減少する海岸の価値を考慮し、整備費用と得られる減災の便益を比較することで、意思決定の際の防潮堤整備高の選択肢を提示する方法を検討した。防災の観点では費用が便益を下回るいくつかのケースにおいて、環境価値を考慮することで、防潮堤の嵩上げが過剰になる可能性があることが明らかになった。浸水人口死亡率は、防潮堤を嵩上げすれば避難時間が稼げると考えると、嵩上げにより低下させることができるが、整備費用が掛かる。防災意識の向上や避難場所の整備等のソフト対策を推進することによって死亡率を減らすことができれば、防潮堤嵩上げは過剰である可能性が高くなる。

### (4) 研究成果の公表

#### 論文

- Adriano, B. S. Hayashi, S. Koshimura: Analysis of Spatio-Temporal Tsunami Source Models for Reproducing Tsunami Inundation Features, *Geosciences*, 8, 3, 2017. doi:10.3390/geosciences8010003
- Adriano, B., Y. Fujii, S. Koshimura: Tsunami source and inundation features around Sendai Coast, Japan due to the November 22, 2016 Mw6.9 Fukushima earthquake, *Geoscience Letters*, 5:2, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40562-017-0100-9>
- De Risi, R., Goda, K., Yasuda, T., Mori, N.: Is flow velocity important in tsunami empirical fragility modeling?, *Earth-Science Reviews*, doi: 10.1016/j.earscirev.2016.12.015, 2017.
- Dharmarathna W.R.S.S., Hato, E.: Comparison of sequential time discount rate in differential disastrous networks, Transportation Research Board 97th Annual Meeting, Washington D.C., January 7-11, 2018.
- Dharmarathna, W.R.S.S., Hato, E.: Route choice behavior under extreme weather events in densified networks: a case study in Tokyo under torrential downpour, 15th ITS symposium, Kyushu, 2017.
- Fukutani, Y., A. Suppasri, F. Imamura: Quantitative assessment of epistemic uncertainty in tsunami hazard effecting on building risk assessment, *Geosciences*, Vol.8, No.1, 17, 2018.
- Goda K., T. Yasuda, P.M. Mai, T. Maruyama, and N. Mori: Tsunami simulations of mega-thrust earthquakes in the Nankai-Tonankai trough (Japan) based on stochastic rupture scenarios, Special Publication Tsunamis: Geology, Hazards and Risks, Geological Society, 2017.
- Guler, H. G., C. Baykal, T. Arikawa, A. C. Yalciner: Numerical Assessment of Tsunami Attack on A Rubble Mound Breakwater Using OpenFOAM, *Applied Ocean Research*, Vol. 72, 76-91, 2018.
- Hayakawa, K., Hato, E.: Evaluation of dynamic traffic control in unsteady networks with closed-loop structures, Transportation Research Board 97th Annual Meeting, Washington D.C., January 7-11, 2018.
- Kajitani, Y. and Tatano, H.: Applicability of a spatial computable general equilibrium model to assess the short-term economic impact of natural disasters. *Economic Systems Research*, 1-24, 2017. <https://doi.org/10.1080/09535314.2017.1369010>
- Kono, T. and K. K. Joshi: Spatial externalities and land use regulation: an integrated set of multiple density regulations, *Journal of Economic Geography*, INPRESS. doi.org/10.1093/jeg/lbx021

- Kono, T., A. Kishi, E. Seita and T. Yokoi: Limitations of using generalized transport costs to estimate changes in trip demand: a bias caused by the endogenous value of time *Transportmetrica A: transport Science*, Vol.14-3, pp.192-209, 2018. doi.org/10.1080/23249935.2017.1363316
- Kono, T., H. Kawaguchi: Cordon pricing and land use regulation *Scandinavian Journal of Economics*, Vol.119-2, pp.405-437, 2017. doi.org/10.1111/sjoe.12167
- Kono, T., A. Kishi: What is an appropriate welfare measure for efficiency of local public policies inducing migration? *Mathematical Social Sciences*, Vol.91, pp.25-35, 2018. doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2017.11.001
- Oyama, Y., E. Hato: A discounted recursive logit model for dynamic gridlock network analysis, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 85, 509-527, 2017.
- Samaddar, S., Okada, N., Choi, J., and Tatano, H.: What constitutes successful participatory disaster risk management? Insights from post-earthquake reconstruction work in rural Gujarat, India. *Natural Hazards*, 85(1), 111-138., 2017.
- Tsuji, D., K. Goda, T. Yasuda and N. Mori: Analysis of tsunami variability and breakwater stability considering uncertainty of tsunami source for the 2011 Tohoku Earthquake, *Proceedings of Coastal Dynamics 2017*, 8, pp.1408-1417, 2017.
- Wang, D., S. Shao, S. Li, Y. Shi, T. Arikawa, H. Zhang: 3D ISPH erosion model for flow passing a vertical cylinder, *Journal of Fluids and Structures*, Volume 78, 374-399, 2018.
- Yu, J., Cruz, A. M., Piatsyzek, E., Lesbats, M., Tardy, A., Hokugo, A., and Tatano, H.: A survey of impact on industrial parks caused by the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 50, 317-324, 2017.
- 有川太郎, 関 克己, 大木裕貴, 平野弘晃, 千田 優, 荒木和博, 石井宏一, 高川智博, 下迫健一郎: 階層型連成シミュレーションによる高精細津波遡上計算手法の開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp. I\_325-I\_330, 2017.
- 有川太郎, 関 克己, 下迫健一郎, 高川智博, 千田 優: フラジリティカーブによる防護施設の被災状況を考慮した津波浸水計算手法の開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp. I\_337-I\_342, 2017.
- 浦田淳司, 羽藤英二, 津波リスク最小化のための送迎避難交通の最適動的制御とその求解方法, *交通工学 Vol. 3 (2017) No. 3 p. 1-10*, 2017.
- 大山雄己, 羽藤英二: 一般化 RL モデルを用いた災害時の経路選択行動分析, *交通工学論文集*, Vol. 3, No. 5, pp. 1-10, 2017.
- 大山雄己, 羽藤英二: 時間構造化ネットワーク上の確率的交通配分, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 73, No. 4, pp.186-200, 2017.
- 小園裕司, 高橋智幸, 桜庭雅明, 野島和也: 南海トラフ地震津波を対象とした建物倒壊および災害がれきを考慮した津波被害予測モデルの適用と被害軽減効果の検討, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp.I\_403-I\_408, 2017.
- 早川敬一郎, 羽藤英二: 閉ループ構造を有する過飽和ネットワークの交通制御, *土木学会論文集 D3*, pp.1159-1172, 2017.
- 平野勝也: 防潮堤の外部性の整理とその緩和策 ～東日本大震災津波被災地での経験・見聞から～, *景観・デザイン研究講演集*, No.13, pp.38-43, 2017.
- 平野弘晃, 小柳雄揮, 有川太郎: 異なる規模の津波を用いた避難経路の危険度に応じた経路選択方法の確立, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp. I\_1501-I\_1506, 2017.
- 丸山拓真, 安田誠宏, Katsuichiro GODA, 森 信人: 地震のスケーリング則を考慮した津波水位の確率評価に関する研究—南海トラフ地震を対象とした静岡県沿岸のケーススタディー, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp.I\_421-I\_426, 2017.
- 安田誠宏, 岩原克仁, 平井翔太, 中條壮大, 金 洙列: 確率台風モデルを援用した駿河湾における高潮の確率論的評価, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp.I\_253-I\_258, 2017.
- 山中亮一, 中川頌将, 上月康則, 馬場俊孝: 液状化に伴う沈下を考慮した徳島県東部での津波浸水過程の数値的検討, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, pp.I\_289-I\_294, 2017. [https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I\\_289](https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_289)
- 横松宗太: 災害とインフラストラクチャ, 経済成長, 格差, *土木学会論文集 D3*, Vol. 73, No.5, pp. I\_1-I\_17, 2017.
- 横松宗太, 秋山祐樹, 小川芳樹, 柴崎亮介: 多様な災害シナリオを考慮した企業の復旧設備投資に関する動的計画問題の数値解析, *土木計画学研究・講演集*, Vol.55, 34-04, CD-ROM, 2017.

- 横松宗太, 小谷仁務, 伊藤秀行: 地域の食料品店による災害時の食料提供の可能性に関する基礎的分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.56, 41, CD-ROM, 2017.
- 吉澤源太郎, 多々納裕一, 畑山満則: 災害時の断水被害軽減に向けた水需要マネジメントの概念化. 水道協会雑誌, Vol.86(12), pp.2-14, 2017.
- 吉澤源太郎, 多々納裕一, 畑山満則: リスクコミュニケーションを通じた断水災害軽減のための水需要マネジメント. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 74(1), pp.35-49, 2018.
- 吉野大介, 羽藤英二: 包絡分析法を用いた地域公共交通需要の顕在化率に関する動的評価. Vol. 52(3), 都市計画論文集 pp. 802-809, 2017.

## 図書

- 河野達仁: 土木計画学ハンドブック, (分担執筆) 5.1.3 節「公共政策およびその財源調達」, コロナ社, pp.194-197, 2017.

## 解説・総説

- 有川太郎: 高潮・高波における災害とその対策, 日本風工学会誌, 42 巻, 3 号, 273-281, 2017.
- 有川太郎: 最新の津波解析技術, 数式のない土木の数値解析セミナー [第 15 回], 土木学会誌, Vol.103, No.3, March 2018.
- 越村俊一: リモートセンシングによる津波の広域被害把握, 日本地震工学会誌, 33 号, pp.26-29, 2018.
- 多々納裕一: 道路ネットワークのレジリエンスの計量化に向けて, 高速道路と自動車, Vol. 60(9), pp. 5-8, 2017.
- 安田誠宏: 新たな海岸防災・減災対策決定プロセスと津波規模と生起頻度の関係の定量化手法, 理工学と技術, 関西大学理工学会誌, Vol.24, pp.35-41, 2017.

## 口頭発表

- Arikawa, T., K. Seki, Y. Chida, T. Takagawa, K. Shimosako: Development of Multiscale Multiphysics High Precision Tsunami Runup Simulator Coupled with Structure Analysis, COMPSAFE2017, 2017, 中国, 成都.
- Dharmarathna, W.R.S.S., Hato, E.: Unsteady travel behavior under uncertainty in densified networks, 5th Conference on Sri Lanka-Japan Collaborative Research, University of Peradeniya, Sri Lanka, 23-24 September 2017.
- Dharmarathna, W.R.S.S., Hato, E.: Unsteady Travel Behavior in Major and Minor Scale Disasters, 56th Conference on Infrastructure Planning and Management, Iwate, November 2017.
- Fukutani, Y., S. Moriguchi, T. Kotani, K. Terada: Proposal of a method for evaluating tsunami risk using response-surface methodology, 2017 AGU fall meeting, 2017, アメリカ合衆国.
- Kono, T., K. Nakajima, K. Shoda: Quantitative analysis of locational externalities considering trade network., 応用地域学発表会, 2017.11, 東京.
- Okayasu, A., H. Tatano, T. Kono and T. Yasuda: A New Approach for Tsunami Risk Reduction on Net Benefit Basis, Keynote speech, APAC2017, SMX Convention Center, Pasay City, Philippines, 2017.
- Seto, S. and T. Takahashi: Estimation of the Characterized Tsunami Source Model considering the Complicated Shape of Tsunami Source by Using the observed waveforms of GPS Buoys in the Nankai Trough, AGU Fall Meeting 2017, NH23A-0203, New Orleans, USA, 2017.
- Takagi, A. and Y. Azuma: Application "Disaster Reduction Class" for facilitating self-help and mutual help for disaster prevention and reduction, IDRiM 2017 in Iceland, 2017.8.23-25.
- Takagi, A. and Y. Azuma: Web application "Disaster Reduction Class" for facilitating understand and practice for disaster risk preparedness and reduction, World Bosai Forum, IDRC Sendai 2017.11.25-28.
- Tatano, H., and Y. Kajitani: Applicability of a Spatial Computable General Equilibrium Model to Assess the Short-term Economic Impact of Natural Disasters, the 9th China-Japan Joint Workshop on Sustainable Management of Cities and Regions under Disaster and Environmental Risks, October 14-18, 2017, Beijing, China.

- Yamaura, K., T. Kono, T. Sato: How business philosophy affects creative activities?: The Inamori management case 15th European Congress of Psychology, 2017.7, Amsterdam.
- Yoshida, J., T. Kono: Quantitative analysis of locational externalities considering trade network, 環境経済・政策学会, 2017.10, 高知.
- 東 善朗, 高木朗義: 防災・減災のための自助・共助支援アプリ「減災教室」, 第 55 回土木計画学研究会(春大会), 愛媛大学, 松山市, 愛媛県, 2017.6.10-11.
- 東 善朗, 高木朗義: 防災・減災のための自助・共助支援アプリ「減災教室」と WEB「減災教室」, 第 9 回土木と学校教育フォーラム, 土木学会, 東京都, 2017.8.6.
- 東 善朗, 三井 栄, 高木朗義, 杉浦聡志: 地域の防災・減災支援策に関する考察—岐阜県内における改善策の試行—, 日本都市学会第 64 回大会, 石巻市, 宮城県, 2017.10.28-29.
- 東 善朗, 高木朗義: 地震災害時を想定した地区住民の避難所利用意向の考察, 地区防災計画学会第 4 回大会, 高知県立大学, 高知市, 2018.3.3.
- 植田瑞貴, 羽藤英二: 離散-連続モデルによる避難時の時空間ネットワーク割り当て問題, 第 12 回南海地震四国地域学術シンポジウム, 2018
- 河野達仁, 瀬賀皓介, 瀬谷 創, ヘドニックアプローチによる無電柱化の便益の計測, 土木計画学, 2017.11, 盛岡.
- 河野達仁, 光廣陽平, 森杉壽芳, 財源調達費用を考慮した自動車関連税と料金の同時最適化, 土木計画学, 2017.5, 愛媛.
- 高木朗義: 応答曲面法による信頼性解析とマルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法の導入による最適堤防整備計画モデルの開発, 第 55 回土木計画学研究会(春大会), 愛媛大学, 松山市, 愛媛県, 2017.6.10-11.
- 高木朗義, 東 善朗: アプリ「減災教室」による「わかる」→「できる」の実践, 第 12 回防災計画学研究会, 京都大学宇治キャンパス, 宇治市, 京都府, 2017.9.15-16.
- 高木朗義, 東 善朗, 三井 栄, 杉浦聡志: 災害に対する自助・共助への住民行動に関する考察—岐阜県における防災・減災プログラムを事例に—, 日本都市学会第 64 回大会, 石巻市, 宮城県, 2017.10.28-29.
- 遠山直高, 杉浦聡志, 高木朗義: スマートシュリンクを念頭においた土地利用規制と人口分布に関する基礎的研究, 土木学会中部支部研究発表会, 名古屋大学, 名古屋市, 2018.3.2.
- 平野勝也: 防潮堤整備の外部性, 第 64 回海岸工学講演会 前日シンポジウム「陸からみた津波減災施設—減災アセスメント小委員会中間報告—」, 2017.10, 北海道大学.
- 安田誠宏: 津波減災における統合的施策のリスクベース設計手法の開発, 平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2017.2, 京都大学防災研究所.
- 吉野大介, 羽藤英二: 列挙索引化技法を組み込んだ構造化処理による公共交通の逐次再編手法, 第 55 回土木計画学研究会発表会, 愛媛大学, 2017.