

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K15261

研究課題名（和文）都市の自然災害に対する回復力のメカニズムの解明と事前対策・復興政策の方向性の検討

研究課題名（英文）The Mechanism and Management of Urban System's Regenerative Capacity for Coping with Natural Disasters

研究代表者

塩崎 由人（Shiozaki, Yuto）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・災害過程研究部門・研究員

研究者番号：00824921

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は都市の自然災害に対する回復力のメカニズムを解明し、事前対策と復興政策を検討することを目的として、（1）数理モデルによる理論的アプローチ、（2）災害事例におけるデータを用いた実証的アプローチによる分析を実施した。数理モデルを用いたアプローチでは、新経済地理学に基づくモデルを用いて、他都市との移動・交易自由度や都市の特性が回復力に与える影響を数値計算で明らかにした。実証的アプローチでは、システムティックレビューにより災害からの回復力を説明する評価指標を整理した。さらに、過去の災害事例におけるデータを分析して住宅再建に影響を与える要因を特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的・社会的意義は下記の2つである。

一つ目は、新経済地理学に基づくモデルによって、周辺都市のレジリエンスの変化や被災・回復状況が対象都市のレジリエンスに与える影響を評価可能にしたことである。

二つ目は、わが国では初めてレジリエンス評価指標の実証的検証を行うことによって、対象事例は限定的であるものの住宅再建に与える要因とその影響を特定したことである。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to elucidate the mechanism of urban resilience to natural disasters and to consider proactive measures and recovery policies. In the mathematical model approach, a model based on New Economic Geography was used to clarify the impact of the degree of trade and movement freeness with other cities and the characteristics of the city on resilience. In the empirical approach, a systematic review was conducted to identify a comprehensive set of indicators that explain urban resilience. In addition, the factors influencing housing recovery were identified by analyzing data from actual disaster cases.

研究分野：都市計画

キーワード：都市システム 自然災害 レジリエンス 災害対策 復興政策 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

我が国では南海トラフ巨大地震等、今後も大規模災害の発生が懸念される。安定して存続していた都市が、災害による人口流出や産業への被害を契機に衰退傾向に陥る等、望ましくない状態に陥る可能性も指摘されている。被災した都市が潜在的に陥る可能性のある状態のパターンとそのメカニズムが解明されれば、都市の特性に応じて、被災後に望ましい状態を回復するための事前対策や備えておくべき復興政策の方向性を検討することが可能となる。

上記のパターンやメカニズムを解明するためには、被災した都市の状態の動的変化を記述可能な数理モデル(以下、回復モデル)を用いる方法が考えられる。しかし、従来の回復モデルは、回復速度を高める対策、または、被害による機会損失を最小化する対策の検討が主な目的とされており、都市が被災前の状態あるいはトレンドに戻ることを前提としていた。そのため、都市が衰退傾向に陥るメカニズムを内包しておらず、従来の回復モデルを上記のパターンやメカニズムの解明には適用できなかった。

以上を踏まえ、塩崎・加藤(2018)¹⁾は周辺都市との所得や生活サービス等の効用差に応じた人口移動を組み込んだ回復モデルを構築した。このモデルを用いて、安定して存続していた都市が許容可能以上の被害を受けると衰退傾向に陥ることを明らかにした。許容可能な被害の程度は、都市の居住環境や産業構造・規模、周辺都市の状態等の特性に影響されることを明らかにした。しかし、この既存のモデルは下記のような課題を抱えている：

- 周辺都市の状態を外生的に与えているため、周辺都市が同時に被災した場合、対象都市が周辺都市の被災状況・回復状況から受ける影響を評価できない。
- 人口の自然増減や年齢構成等の要因を組み込んでおらず、これらの回復への影響を評価できない。

2. 研究の目的

本研究は、事前対策と復興政策の検討に向けて、都市の自然災害からの回復力に影響を与える要因とメカニズムを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では、(1)数理モデルによる理論的アプローチ、(2)災害事例におけるデータを用いた実証的アプローチによる分析を実施した。

(1)数理モデルを用いたアプローチでは、自然災害等の外力によって生じる人口変動を受け容れ、都市システムが外力を受ける前の状態を回復する能力を受容力(レジリエンス概念に含まれる複数の能力の一つ)と定義した。その上で、都市システムの受容力を表現するために、Murata and Thisse(2005)²⁾による空間経済地理学モデルに外部地域を組み込んだ2都市スモールオープンモデルを構築した。このモデルを用いて、他都市との移動・交易自由度や都市の特性が対象都市の受容力に与える影響を数値計算によって明らかにした。さらに、その結果を基に都市の受容力を高めるための対策を検討した。

(2)実証的アプローチでは、先行研究によって妥当性が検証されているレジリエンスの評価指標をシステマティックレビューによって明らかにすることで、災害からの回復力を説明可能な指標(要因)を体系的に整理した。次に、2016年熊本地震で被災した熊本県益城町における地震被害および被災前後の建物データを用いて、益城町内各地区の住宅再建率に影響を与える要因を特定した。先のレビュー結果と熊本地震における分析結果を基に、都市の回復力に影響が大きい要因について検討した。

4. 研究成果

(1) 数理モデルによる理論的アプローチ

空間経済地理学に基づく2都市スモールオープンモデルを用いて、一方の都市での人口変動に対する都市システムの受容力に、都市間交易の自由度や各都市の特性の変化が与える影響を分析した(図1)。都市間交易の影響に関しては、両都市の特性が同質である場合、異質である場合にかかわらず、交易の自由度が高いほど両都市の受容力を増大させることが確認された。都市の特性による影響に関しては、一方の都市での交通の利便性の向上は両都市の受容力を増大させることを明らかにした。しかし、一方の都市での生産の効率性、地理的優位性の向上は他方の都市の受容力を増大させず、低下させるか、影響を与えないことを明らかにした(図2)。さらに、両都市で同時に生じる人口変動への受容力を考えた場合でも、交易の自由度や各都市の特性が受容力に及ぼす影響は、一方の都市での人口変動に対する受容力を考えた場合と定性的に同じであることを示した。最後に、受容力を上回る人口変動を受けた都市の家計が、外力を受けていない他都市に移転することによって、都市が回復可能となる場合があることを示した。

上記の分析結果を基に、対策の検討に向けた視点を整理する。まず、受容力に関する事前対策の視点としては、都市間交易の自由度、各都市での都市内交通の利便性を向上させるインフラ整備や交通施策が、結果として両都市の受容力を増大させることにつながると言える。また、一方

の都市でのみ生産の効率性を高める技術開発や施策が講じられた場合、当該都市の受容力は増大するが、他都市の受容力を低下させる可能性には留意する必要がある。地理的優位性に関しては、自然環境を保全・改善することが自都市の受容力の維持・向上に資する可能性がある。さらに、都市間・都市内交通のインフラ、生産設備への被害防止・軽減策を講じることは、外力発生時における都市の受容力低下を抑制し、存続可能性を高めることにつながると考えられる。

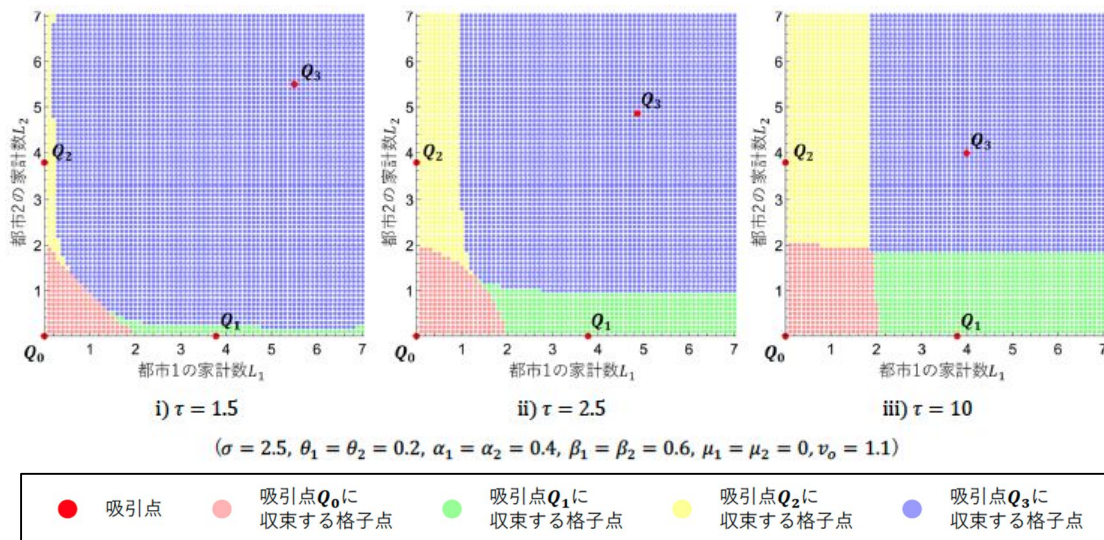


図1 輸送費用 の変化が受容力に与える影響

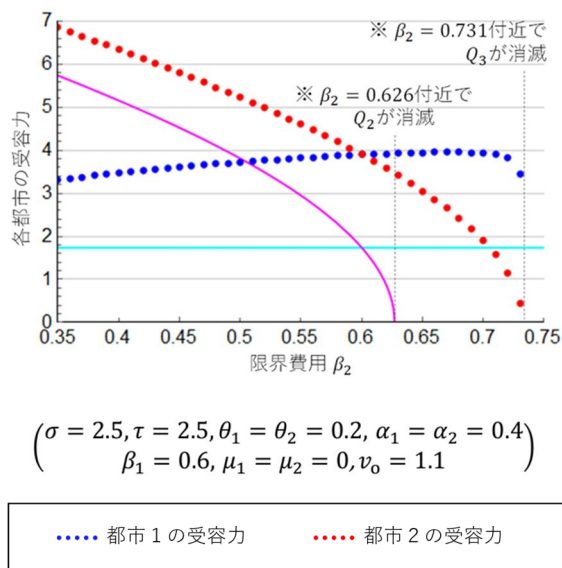


図2 一方の都市の生産効率性が両都市の受容力に与える影響

(2) 災害事例におけるデータを用いた実証的アプローチ

システマティックレビューの結果、レジリエンス評価指標を過去の災害事例で収集されたレジリエンス効果変数(outcome variables)のデータによって検証した先行研究を27報特定した。図3に示す枠組みに基づき、各先行研究においてどのような効果変数を介して、どのようなタイプの能力(維持(maintaining)・回復(recovering)・変革(transformation))について、どのような指標の有効性が検証されているかを明らかにした。その結果、複数の研究において、「高齢化率」、「女性世帯主の比率」が高い地区は、いずれかのレジリエンス能力が低い傾向があることが示された。さらに、「持家率」、「就業率」が高い地区は、複数の研究において、いずれかのレジリエンス能力が高い傾向があることが示された。一方で、「生まれて以来、同じ住宅あるいは同じ地区に居住している人の割合」が高い地区ほどレジリエンスが高いという仮定に反して、この指標の割合が高い地区ほどレジリエンスは低い傾向があることが示されていた。以上に示すように、レジリエンスに関する先行研究に基づく仮定と整合的な結果を示す指標も確認されたが、仮定とは相反する結果を示す指標も確認された。

Which indicators/indexes are validated for which capacities, through which outcomes?

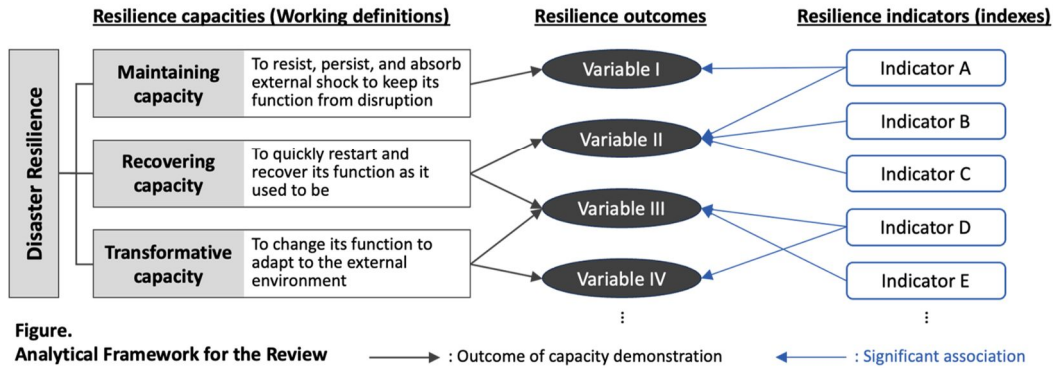


図3 レジリエンス評価指標の実証的検証結果に関するシステムティックレビューの枠組み

次に、2016年熊本地震によって大きな被害を受けた熊本県益城町を対象にレジリエンス評価指標の検証を行った。まず、地理情報システムを用いて、地震による住宅被害からの再建率を大字別に算出した(図4)。次に、この住宅再建率をレジリエンス効果変数として複数のレジリエンス指標について相関分析を実施した。その結果、表1に示すように、「65歳以上高齢化率」、「専門職従事者の割合」等の指標は仮定と整合的な結果を示した。しかし、「持家率」、「生まれて以来、同じ自治体に居住している人の割合」は住宅再建率とは逆相関を示す結果となった。先行研究におけるレジリエンス評価でもよく用いられる「生まれて以来、同じ自治体・地域に居住している人の割合」は、本研究においても仮定と相反する結果を示す結果となった。また、複数の研究において仮定と整合的な結果が示されていた「持家率」についても本研究では仮定と相反する結果となった。

本研究の成果として、都市システムの災害からの回復力に影響を与える要因やメカニズムに関して、以上に示す知見を明らかにした。しかしながら、都市の回復力に影響を与える決定的な要因を網羅的に特定するには至っていない。本研究において実施したシステムティックレビューの結果、地域の特性に応じて回復に有意に影響する指標(要因)が異なる可能性を示唆する先行研究も見られた。こうした研究課題については、理論・実証の両アプローチからさらなる追究が必要である。

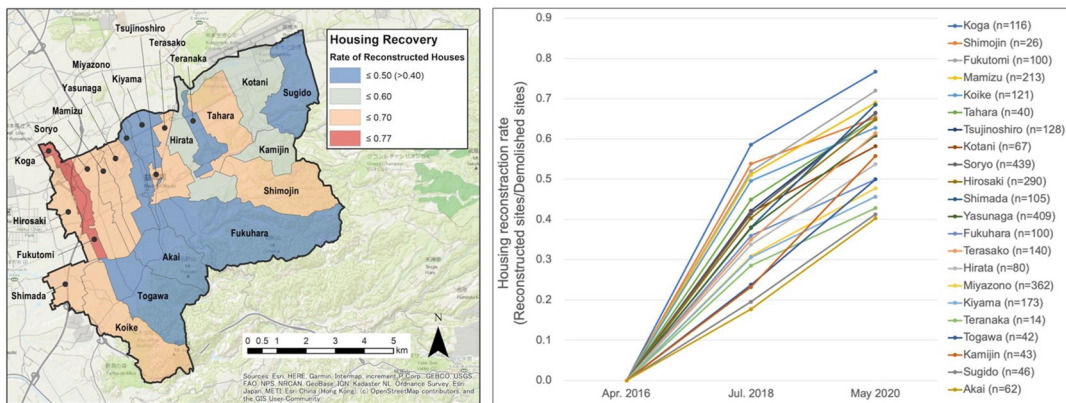


図4 2016年熊本地震後の益城町における大字別住宅再建率

表1 2016年熊本地震で被災した益城町を対象としたレジリエンス評価指標の検証結果

Type	Resilience indicators	Housing reconstruction rate	Expected effect on recovery
Social	Population rate over 65 years old	-0.633 **	-
	Population density	0.451 *	+
Economic	Homeowner household rate	-0.442 *	+
	Female workforce participation rate	0.142	+
	Population rate over 15 years old with employment	-0.174	+
	Population rate over 15 years working outside the town	0.558 **	+
Community	Distance to the center (city hall) of Kumamoto city	-0.546 **	-
	Population rate born in the town and still residing	-0.468 *	+
	Population rate over 15 years old working for professional and technical services	0.531 **	+

参考文献

- 1) 塩崎由人・加藤孝明：都市システムの自然災害に対する受容力の構造の解明と制御の可能性，地域安全学会論文集，Vol.33，pp.63-73, 2018.
- 2) Murata,Y., Thisse, J.F.: A simple model of economic geography à la Helpman–Tabuchi, Journal of Urban Economics, Volume 58, Issue 1, pp.137-155, 2005.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 塩崎由人, 高山雄貴	4. 巻 76(4)
2. 論文標題 新経済地理学に基づく都市システムの人口変動に対する受容力の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 314-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.76.4_314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiozaki Yuto, Yamazaki Fumio, Liu Wen	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of Housing Recovery as a Disaster Resilience Outcome: A Case Study of the 2016 Kumamoto Earthquake	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Canadian-Pacific Conference on Earthquake Engineering (CCEE-PCEE) 2023	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiozaki Yuto, Nagamatsu Shingo, Sato Keiichi, Bhattacharya Yasmin	4. 巻 -
2. 論文標題 A Systematic Literature Review of Empirical Validation of Disaster Resilience Indicators	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 SSRN Electronic Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2139/ssrn.4721499	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Yuto Shiozaki
2. 発表標題 Flood Adaptability Assessment in Low-lying Cities for Coping with Climate Change
3. 学会等名 4th European Conference on Flood Risk Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Shiozaki
2. 発表標題 Identifying the cascading effects caused by a large-scale flood: A case of a low-lying area in Tokyo
3. 学会等名 The 11th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Shiozaki
2. 発表標題 An urban system's resilience: a modeling approach and future challenges
3. 学会等名 IRDR lunchtime forum
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩崎由人
2. 発表標題 新経済地理学モデルによる都市システムの受容力の分析
3. 学会等名 第60回土木計画学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Shiozaki
2. 発表標題 Concepts of Urban System's Resilience and a Mathematical Model
3. 学会等名 World Bosai Forum 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩崎由人
2. 発表標題 都市システムの自然災害に対する 再構築力の構造の解明
3. 学会等名 The 3rd IRIDeS DRR Colloquium (東北大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩崎由人
2. 発表標題 災害レジリエンス評価指標の実証的検証に関する文献調査
3. 学会等名 地域安全学会 第52回研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shiozaki Yuto
2. 発表標題 A Literature Survey: Towards Validating Resilience Indicators
3. 学会等名 The 13th International Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shiozaki Yuto
2. 発表標題 Validating Resilience Indicators with the Housing Recovery from the 2016 Kumamoto Earthquake
3. 学会等名 The 2024 Researchers Meeting (ISA-RC39) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------