

論文の内容の要旨

論文題目 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

氏 名 塩崎 由人

自然災害に対する都市の事前対策として、都市への被害を防止・軽減する対策に加えて、被害を受けることを前提に都市の回復・再生する力を高める対策が必要とされる。被災した都市が回復・再生する力については、自然災害対策分野において、回復力、復元力、レジリエンス等、多様な用語によって表現されるが、本研究ではこれらの用語を包括する概念として「再構築力」と定義する。

都市の再構築力を高める対策を検討するためには、多様な意味で用いられている再構築力の概念の定義を明確にしたうえで、再構築力に影響を与える要因と再構築力との関係構造を明らかにする必要がある。

近年、自然災害に対する再構築力についての研究では、都市を住民の生活や企業の生産活動を支えるシステム（以下、都市システム）とみなす研究が多くみられる。本研究でも都市システムの再構築力の概念に焦点を当て、先行研究のレビューを行った。本研究では、「都市システムが回復すべき状態（以下、望ましい状態）」についての前提の置き方に着目し、先行研究における再構築力の概念を、i) 安定力としての再構築力、ii) 受容力としての再構築力、iii) 適応力としての再構築力の3つの概念に類型化した。

安定力としての再構築力の概念では、都市システムにとって望ましい状態を被災前の状態としており、都市システムは被災した場合でも被災前の状態に回復できることを前提とする。この概念では、都市システムの安定力は、災害による影響の軽減の程度、および、被災した都市が被災前の状態に戻るために要する時間によって測られる。

受容力としての再構築力の概念では、災害による被害が一定の規模を超えると、都市システムは回復する能力を失い、被害を受けた状態のまま停滞したり、衰退する可能性があることを前提としている。この概念では、都市システムの受容力は、都市が被害を受けた場合でも望ましい状態に回復できる被害の程度によって測られる。

適応力としての再構築力の概念では、都市システムにとって望ましい状態は、被災前

の状態に限らず、都市が置かれている社会・経済的環境に応じて変化することを前提としている。産業の衰退など、社会・経済的環境が変化している状況下で被災した場合、災害の被害から回復するだけでなく、環境の変化にも適応する能力が適応力とされる。

これら3つの概念における先行研究の到達点を整理すると、安定力としての再構築力に関する研究では、都市システムの安定力に影響を与える要因とその関係構造を明らかにしたうえで、安定力を高める対策の検討・評価を目的に、都市システムの回復を記述するシミュレーションモデルが構築されている。一方、受容力、適応力としての再構築力に関する研究では、概念は提示されているものの、受容力や適応力に影響を与える要因とその関係構造については明らかにされていない。

以上を踏まえ、本研究では、都市システムの受容力と適応力の構造を明らかにすることを目的として、数理モデルを構築する。ただし、受容力と適応力の構造を解明するためには、モデルに災害の被害や環境の変化を与えたときに、衰退する等、望ましくない状態に陥るメカニズムを含んでいる必要がある。安定力に関する先行研究のモデルは、基本的に被災前の状態に回復していくことを前提として構築されているため、受容力と適応力の構造の解明には適用することができない。そこで、本研究では、都市システムの状態の動的変化を記述でき、かつ、衰退のメカニズムを内包した数理モデルを構築し、受容力と適応力に影響を与える要因とその定性的な関係構造を明らかにする。

本論文は5章から構成され、第1章の序論において、本研究の背景および目的を述べた。

第2章では、多様な定義において用いられている再構築力の概念を類型化し、本研究が対象とする再構築力の概念の位置づけを明確にすることを目的に、都市システムの再構築力の概念に関連する先行研究、政策文書の文献レビューを行った。文献レビューの対象は、自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の他に、レジリエンスの概念と対して用いられることの多い脆弱性の概念、および、自然災害対策分野のレジリエンスの概念に影響を与えている生態システム、社会生態システム分野のレジリエンスの概念に関する研究とした。文献レビューの結果、先述の通り、再構築力の概念を、i) 安定力としての再構築力、ii) 受容力としての再構築力、iii) 適応力としての再構築力の3つの概念に類型化した。各概念の定義については、安定力としての再構築力は「災害による被害を軽減し、被災後、望ましい状態に迅速に到達する能力」、受容力としての再構築力は「災害による被害を受け容れ、望ましい状態に到達可能な状態を保持する能力」、適応力としての再構築力は「都市システムが置かれている社会・経済的環境が変化している場合、被災した都市システムが環境の変化にも適応した望ましい状態へと自身を再構築する能力」とした。

第3章では、都市システムが備えている特徴と受容力の大きさとの定性的な関係構造を明らかにし、受容力の制御の可能性を検討することを目的に、都市システムの状態の動的変化を記述する微分方程式モデル（以下、基本都市モデル）を構築した。都市シス

テムの状態は、人口 $x(t)$ および資本（生産設備） $y(t)$ によって表されるものとし、都市システムの備えている特徴はモデル内のパラメータによって表すものとした。

都市システムの状態の動的変化は、基本都市モデルが xy 平面上に定義するベクトル場によって決定される。このベクトル場の様相はモデル内のパラメータによって決定されるが、パラメータの値によって、 xy 平面上に都市システムが安定して存続可能となる漸近安定な平衡点が出現あるいは消滅することを明らかにした。そのうえで、都市システムにとって望ましい状態を「都市システムが安定して存続可能な状態」と定義した時、都市システムの受容力の大きさは漸近安定な平衡点の吸引領域によって表されることを示した。この吸引領域の大きさはモデル内のパラメータの値に応じて変化する。パラメータの値と吸引領域の変化を分析することで、都市システムの特徴と受容力の大きさの関係構造を明らかにした。

以上のように明らかにした内容を基に、都市システムの受容力を制御する上での視点を、平時の制御と被災直後の制御に分類して整理した。平時においては、都市システム内部のパラメータだけでなく、外部システムの状態も考慮する必要があることを明らかにした。また、被災直後に都市システムのパラメータを操作して、都市システムの受容力を一時的に高めることで、望ましくない状態に陥ることを防ぐ対策の可能性についても明らかにした。

第4章では、環境変化に対する都市システムの適応力に影響を与える要因を明らかにすること、災害が都市システムの適応に与える影響について明らかにすることを目的に、環境変化への適応を組み込んだモデルを構築した。ここでは環境の変化を都市システム内の産業の衰退とした。また、ここでも、都市システムにとって望ましい状態を「都市システムが安定して存続可能な状態」とした。

まず、第3章で構築した基本都市モデルを基に、産業の衰退を組み込んだ微分方程式モデル（以下、産業衰退モデル）を構築した。このモデルを用いて、産業の衰退が都市システムに与える影響について分析し、産業の衰退に適応するための必要条件を整理した。次に、産業の衰退への適応を組み込んだ微分方程式モデル（以下、産業適応モデル）を構築し、適応開始時の都市システムの状態、既存産業の衰退速度、既存産業に代わる新規産業の生産性が適応の可否に与える影響を明らかにした。また、災害が産業の衰退への適応に与える影響についても分析を行った。災害は、都市システムが既存産業の衰退に適応するための時間的猶予を奪い、都市の衰退傾向を加速させる可能性があることを明らかにした。適応開始後、災害に対する受容力が一時的に低下する可能性についても明らかにした。

第5章は結論として第2章から第4章までを総括し、今後の展望を整理した。本論文は、自然災害に対する都市システムの再構築力の概念を体系的な文献レビューに基づき3つに分類し、各概念の定義を明確に示した。そのうえで、都市システムの受容力および適応力としての再構築力の概念に焦点を当て、その構造を明らかにするために微分方

程式モデルを構築した。受容力については、モデルによって定義される相空間上において、都市が存続可能となる漸近安定な平衡点の吸引領域によりその大きさが表されることを示した。さらに、都市の特徴が受容力の大きさに与える影響を分析することでその構造を明らかにし、受容力の制御の視点を整理した。適応力については、産業の衰退を環境変化として、産業の衰退に対する適応の必要条件を整理したうえで、適応を組み込んだ産業適応モデルを構築した。この産業適応モデルを用いて、適応の可否に影響を与える要因について明らかにした。また、災害が適応の可否に影響についても明らかにした。本研究の今後の展望としては、派生モデルの構築によるモデルの適用範囲の拡大、現実の復興事例の解釈によるモデルの説得性・理解度の向上、対象とする都市システムの領域のとり方による再構築力への影響の解明、新たな価値観に基づく評価軸を加えた適応力の概念の構築が挙げられる。