

自然災害に対する都市システムのレジリエンス に関する概念整理

塩崎 由人¹・加藤 孝明²・菅田 寛³

¹学生会員 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 Cw801)

E-mail: yuto@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学准教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 Cw801)

E-mail: kato-t@iis.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学特任研究員 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 Cw801)

E-mail: hisugata@iis.u-tokyo.ac.jp

近年、日本の自然災害対策の分野では、被災後の都市の再構築能力に関連して「レジリエンス」という用語が頻繁に使われている。自然災害対策におけるレジリエンスの概念は、自然災害に対する脆弱性評価の研究、生態システム、社会生態システムの分野におけるレジリエンスの研究に影響を受けながら発展してきた概念である。本研究では、これらの概念について国内外の文献のレビューを行い、その発展の経緯と多様な定義の整理を行った。都市システムのレジリエンスの概念は、(i) システムの安定性としてのレジリエンスの概念、(ii) システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念に分類された。この整理をもとに、今後、自然災害に対する都市システムのレジリエンスの概念的枠組みを構築する上での方向性を提示した。

Key Words : *natural disaster, urban system, resilience, vulnerability*

1. はじめに

(1) 背景

日本では、阪神大震災（1995年）、東日本大震災（2011年）をはじめとする大規模災害を経て、自然災害による被害を完全に防ぐことは困難であることが認識されるようになった。今後も南海トラフ巨大地震、首都直下地震、ゼロメートル地帯における大規模水害など、都市が大規模災害に直面する可能性が想定されている。大規模災害に直面した都市は、被害を受けたまま立ち直ることができず、望ましくない状態に陥る可能性も考えられる。こうした状況を考慮すると、被害の防止・軽減策に加えて、都市がある程度大きな被害を受ける可能性があることを前提に、被災しても望ましい状態へと再構築する能力を担保していることが求められる。つまり、今後、発生が予想される大規模災害に備えて、自然災害に対する都市の再構築能力を管理していくための枠組みを構築することが求められる。ここで言う都市とは、建築物、道路・鉄道、電気・ガス・上下水道・通信のインフラストラクチャーなどの物理システムだけでなく、人々や企業の活動から成る社会経済システムも含み、人々の

生活や生業の基盤となるシステムであるとする。近年、国内外の自然災害対策分野では、被災後の都市の再構築能力に関連して、「レジリエンス (resilience)」という用語が頻繁に用いられている^{1,2)}。レジリエンスという用語は、英語圏から持ち込まれた用語であり、元来、「跳ね戻る (jump back)」という意味のラテン語“resilio”に由来する³⁾。英語圏では、当初、心理学、材料工学などの分野において、レジリエンスの概念が使われはじめたと考えられている⁴⁾。心理学の分野では、個人が困難な状況に遭遇した時、その状況から回復し、従前の状態を回復する能力、あるいはその状況に適応する能力とされている^{5,6)}。材料工学の分野では、負荷をかけられた物質が壊れたり変形したりすることなく、元の状態に戻る能力とされている⁷⁾。Longman Dictionary of Contemporary English⁸⁾においても、レジリエンスには心理学や材料工学と同様の定義が与えられている^{注1)}。システムに係わる分野における原初的なレジリエンスの概念としては、Hashimoto et al.が水資源システムのレジリエンスについて、システムが外力を受けて破たんした際、要求される水準まで迅速に回復する能力と定義されている⁹⁾。経済学の分野においても、概ね経済システ

ムが内部あるいは外部から負の影響を受けた際に、従前の経済水準へ迅速に回復する能力をレジリエンスと定義している¹⁰⁾。一方で、近年様々な分野で頻繁に引用されている生態システム、社会生態システムにおけるレジリエンスの概念は、システムが環境の変化に曝された時、必ずしもシステムが従前の状態に戻ることを前提としていない。ここで言う生態システムとは、ある一定の区域に存在する生物とそれを取り巻く大気、水文、土壌などの非生物的環境によって構成され、それらが相互に作用し合う動的なシステムである。例としては、サンゴ礁、熱帯雨林、草原、農地などがある。社会生態システムとは、農業や漁業のように生態システムに依存して生産活動を行う社会システムと、その社会システムの活動による影響を受ける生態システムから成るシステムである。生態システム、社会生態システムの分野では、環境変化の程度によってはシステムの性質、特徴、機能が変化する可能性があることを前提に、システムを望ましい状態に管理するための概念的枠組みとしてレジリエンスが用いられている。このように、レジリエンスの概念には多様な分野において多様な定義が存在し、その定義が一意であるわけではない。

自然災害対策の研究分野では、Timmerman¹²⁾によってレジリエンスの概念が導入されたのが最初とされる^{3), 11)}。自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念は、研究あるいは政策の着眼点の変化、他分野のレジリエンスの概念からの影響を受けながら、多義的に発展してきた。近年、国際機関のアジェンダや各国の政策にもレジリエンスの概念が含まれるようになり、研究分野においてもレジリエンスの概念的枠組みが提示されている^{12), 13), 14), 15)}。

国内外の自然災害対策分野において多様な定義で用いられているレジリエンスの概念を体系的に整理し、都市のレジリエンスの概念の今後の方向性を考察することは、今後、日本において、自然災害に対する都市のレジリエンス（再構築能力）を管理していくための枠組みを検討する上で参考になると考えられる。

(2) 研究の目的・構成

以上のような背景のもと、本研究では、国内外における自然災害対策分野のレジリエンスの概念に関連する文献レビューを行い、レジリエンスの概念的枠組みについて整理を行った。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に関する研究の他に、レジリエンスの概念と対に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、本稿では、自然災害対策分野に

おけるレジリエンスの概念を、(i) 脆弱性評価におけるレジリエンスの概念（第2章）、(ii) システム・アプローチにおけるレジリエンス（第3章）の概念の2つに分類して整理する。(i) 脆弱性評価におけるレジリエンスの概念では、脆弱性の概念の定義、およびレジリエンスの概念との関係性について整理する。文献レビューに基づきレジリエンスの概念の整理を行い（第4章）、今後、日本において自然災害に対する都市システムのレジリエンスを管理するための枠組みを構築する上での方向性を提示する（第5章）。

なお、「レジリエンス」、「脆弱性」については、各文献で多義的に使用されている用語であるため、本稿では必要に応じてその都度定義を示すものとする。

2. 脆弱性評価におけるレジリエンスの概念

自然災害対策分野において、レジリエンスの概念は、脆弱性評価の枠組みの中で頻繁に用いられる。本章では、まず自然災害対策分野において多義的に用いられている脆弱性の概念を整理する。自然災害対策分野における脆弱性の概念にも多様な定義が存在するが、概ね、(1) 物理的側面に着目した脆弱性の概念、(2) 社会的側面に着目した脆弱性の概念の2つに分類することができる。本章では、脆弱性の概念を整理したうえで、脆弱性評価の枠組みにおけるレジリエンスの概念の定義を示し、脆弱性とレジリエンスの概念の関係を明らかにする。

(1) 物理的側面に着目した脆弱性の概念

物理的側面に着目した脆弱性評価のアプローチは、20世紀前半からの米国の地理学における災害研究に端を発する¹⁶⁾。このアプローチは自然災害の主たる要因を自然現象に起因するハザードであるとみなす。また、物理的な要因であるハザード (hazard)、曝露 (exposure)、感受性 (sensitivity) の制御によって自然災害リスクを管理することを目的としており、リスク・ハザード・アプローチ (risk-hazard approach) とも言われる^{17), 11)}。

リスク・ハザード・アプローチにおける災害対策は、ハザード、曝露、感受性の制御によって実施される。ハザードの制御は、河川堤防や防潮堤などの工学的対策により実施される¹⁸⁾。ハザードの制御が可能となるのは洪水や高潮など一部のハザードに限定される。ただし、ハザードの規模が堤防や防潮堤の安全水準を超える可能性もあり、完全にハザードを制御することができるわけではない。曝露の制御は、土地利用管理やハザードに関する情報の公開によって、ハザードの高い場所への人口や建物、インフラストラクチャーの立地を低減させることである¹⁹⁾。感受性の制御は、ハザードから受ける被害を

防止・軽減する対策である。地震の場合であれば、建物やインフラストラクチャーの耐震強度を向上させることである。

リスク・ハザード・アプローチでは、脆弱性は概ね3つの意味に定義されている。一つ目は、人口・産業がハザードの危険に曝されている状態を脆弱な状態であるとする定義である。この定義では、ハザードに対する都市や地域の脆弱性の程度をハザードの危険に曝されている人口や建物などの量によって表す²⁰⁾。二つ目は、都市あるいは建物やインフラストラクチャーなどの要素が、ハザードによる物的な被害を受けやすい状態にあることを脆弱であるとする定義である。この定義では、ハザードに対する都市や建物の脆弱性の程度をその感受性によって表す^{21), 22), 23)}。三つ目は、都市や地域がハザードに対して抱えている潜在的被害の大きさを脆弱性を表す定義である¹¹⁾。このアプローチでは、いずれの脆弱性の定義でも物理的側面の要因に着目している。

リスク・ハザード・アプローチによる研究は、その後の自然災害対策や気候変動への対応策の枠組みに大きな影響を与えてきた²⁴⁾。その一方で、リスク・ハザード・アプローチが物理的側面のみに着目し、その脆弱性の概念的枠組みにおいて社会的側面を考慮してしないという問題点が指摘されている^{25), 17)}。

(2) 社会的側面に着目した脆弱性の概念

社会的側面に着目した脆弱性に関する研究は、a) 政治・経済・社会構造に着目した政治・経済学的アプローチ (political-economy approach), b) 個人や集団の対処能力に着目したアプローチに分類することができる。

a) 政治・経済学的アプローチ

政治・経済学的アプローチは、1970年代にリスク・ハザード・アプローチへの反論として現れたアプローチである^{26), 11)}。このアプローチでは自然災害が生じる要因を自然現象であるハザードだけでなく、政治・経済・社会構造にも求める。政治・経済・社会構造によって政治的権力や経済的資源から周縁化された貧困層や少数民族などの特定の社会的集団がハザードの高い地域に居住せざるを得ない状況に陥った結果、自然災害による被害が生じるとする考え方である^{25), 27)}。この考え方は発展途上国における自然災害の観察の結果生じたものであるが、現在では先進国にも適用されている^{28), 29)}。政治・経済学的アプローチにおける脆弱性は、ある社会的集団がハザードに曝され、感受性が高く、被災後に生活を再建する能力が低い状態にあることを指す。

政治・経済学的アプローチの目的は、特定の社会的集団を脆弱な状況に陥れる政治・経済・社会構造に基づくプロセスを明らかにし、この構造を変革することによって脆弱性を解消することである^{30), 31)}。このアプローチは

社会的側面からマクロ的な視点で脆弱性の形成要因を明らかにしようとするものであると言える。

Susman et al.は、政治・経済・社会構造によって、特定の社会的集団において脆弱性が形成されるプロセスを「周縁化理論 (Theory of Marginalization)」によって説明している²⁷⁾。Wisner et al.は、権力や経済的資源の分配に差がある政治・経済・社会構造において、急速な都市化や人口増加などの環境変化が引き金となって脆弱性が生じることを説明する「Pressure and Release Model」を提案している³²⁾。

政治・経済学的アプローチは、脆弱性評価の研究に社会的側面から脆弱性の形成要因に着目する視点をもたらしたが、その課題も指摘されている。まず一つ目の課題は、このアプローチの研究成果が短期～中期的な対策には結びつきにくいことである。政治・経済学的アプローチに基づいて脆弱性を解消するには、その脆弱性を生み出している政治・経済・社会構造自体を変革する必要があるため、長期間を要することになる。もう一つの課題は、ミクロ的な視点 (個人あるいは世帯レベル) が欠如していることである。特定の社会的集団内部においても個人あるいは世帯の所得や職業などの属性によって、被災後の生活再建の状況に差が生じていることが考慮されていない^{30), 33), 32)}。

b) 個人・集団の対処能力に着目したアプローチ

対処能力 (coping/response capacity) を考慮した脆弱性評価のアプローチは、所得や職業、人種、属している社会的ネットワークの属性に応じて、ハザードに対する感受性を改善したり、被災した状態から回復する能力に差が生じることに着目したアプローチである。ハザードに対する感受性を緩和したり、被災した状況から回復する能力が対処能力である^{30), 32)}。本稿では、このアプローチをキャパシティ・アプローチとする。

キャパシティ・アプローチには、(1)個人あるいは集団の対処能力の多寡によって脆弱性を測定するグループと、(2)曝されているハザードと対処能力の程度を比較することにより脆弱性を測定するグループに分けられる。前者の事例としては、Anderson and WoodrowのCapacities and Vulnerability AnalysisとWisner et al.のAccessモデルがあげられる^{34), 32)}。Capacities and Vulnerability Analysisは、集団の災害に対する対処能力を把握したうえで、援助の必要な集団を特定することを目的とした分析の枠組みを提示している。Accessモデルは、被災した世帯が生計をたてるために必要な資源を確保することができるかという視点から、所得、職業、人種、社会的ネットワークなどの属性の差が各世帯の対処能力に与える影響を分析するための概念的枠組みを示したものである。後者の事例としては、Cutterのhazard-of-placeモデルがあげられる³⁵⁾。このモデルは、地域の物理的脆弱性 (biophysical vulnerability)

と社会的脆弱性 (social vulnerability) を指標化し統合することで、その地域の脆弱性 (place vulnerability) を表すものである。物理的脆弱性はその地域で発生する可能性のある様々なハザードの発生確率に基づく指標によって表され、社会的脆弱性はその地域に住民の所得、職業、教育水準、人種などの属性から成る指標によって表されている。

(3) 脆弱性とレジリエンスの概念の関係

脆弱性評価の研究では、リスク・ハザード・アプローチ、政治・経済的アプローチ、キャパシティ・アプローチと発展していき、脆弱性の概念の領域が物理的側面から社会的側面へと拡張されていった。キャパシティ・アプローチにおいて、個人や集団の対処能力がレジリエンスと定義される場合があり、脆弱性評価の枠組みの中でレジリエンスの概念が位置づけられている³⁹⁾。

3. システムのレジリエンスの概念

レジリエンスの概念には、前章で説明した脆弱性評価の枠組みとは別に、都市やコミュニティをシステムとみなし、そのシステムが被災した際に、システムが望ましい状態に到達できるように管理することを目的とした概念的枠組みがある。本稿では、このような概念的枠組みを用いるアプローチをシステム・アプローチとする。システム・アプローチにおけるレジリエンスの定義は、

- (i) システムの安定性としてのレジリエンスの概念、
- (ii) システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念の2種類に分類できる。この2つのレジリエンスの概念は、いずれも生態システム、社会生態システムにおけるレジリエンスの概念の影響を受けている³⁹⁾。

本章では、まず生態システムおよび社会生態システムにおけるレジリエンスの概念を整理する。次に、生態システム、社会生態システムの分野から、自然災害対策分野に適用されたレジリエンスの概念を上記の2つに分類して説明する。

(1) 生態システム、社会生態システムにおけるレジリエンスの概念

a) 生態システムにおけるレジリエンスの概念

生態システムの分野では、Holling³⁷⁾によって導入されて以降、レジリエンスの概念が発展してきた³⁹⁾。生態システムにおけるレジリエンスの概念は、生態システムの外力に対する振舞いの特徴を表す概念である。Holling³⁹⁾は、生態システムのレジリエンスに関する研究には、「工学的レジリエンス (engineering resilience)」と「生態学的レジリエンス (ecological resilience)」の2つの異なる

定義があることを指摘している。それぞれの定義では、生態システムが外力を受けたときの振舞いについての前提が異なる。

工学的レジリエンスでは、生態システムが外力を受けた場合に、そのシステムが有する唯一の平衡状態 (single/global equilibrium) に戻る (均衡点回帰的変化) を前提としている^{40), 41)}。工学的レジリエンスは、「外力を受けた後、システムが平衡状態に戻る能力」と定義される。システムの工学的レジリエンスの大きさは、ある大きさの外力を受けたときに、システムが平衡状態からどの程度離れた状態になるか、そしてその状態からどの程度の速度で平衡状態に戻るかということによって測定される³⁹⁾。

一方、生態学的レジリエンスでは、生態システムは複数の平衡状態 (multiple equilibrium) を有しており、外力の大きさがある閾値を超えた場合、現在の平衡状態から別の平衡状態へと遷移してしまうこと (位相転換的変化) を前提としている⁴¹⁾。別の平衡状態への遷移とは、システムの振舞いを制御している変数や変数間のプロセスが変化するシステムの構造的変化を指し、システムの主要な性質が変化することを意味する⁴⁰⁾。このように生態システムが外力を受けることにより、別の平衡状態へと遷移する現象は「レジーム・シフト (regime shift)」と呼ばれている。生態システムにおけるレジーム・シフトの例としては、多様な動植物種を有する透明度の高い湖沼が、人間活動等の外的な影響によって栄養度が上昇していくと、ある閾値を境にして、突然、水が濁りはじめ、動植物の多様性が損なわれる事例が報告されている^{42), 43), 注3)}。生態学的レジリエンスは、「外力を受けた場合でも、システムがその主要な性質を維持する能力 (外力を受容する能力)」あるいは「外力を受けた場合でも、システムが従前の平衡状態に留まる能力」とであると定義される。システムの生態学的レジリエンスの大きさは、システムが構造的に変化せずに受けることが可能な外力の総量によって測定される³⁹⁾。生態学的レジリエンスの概念は、後述する社会生態システムにおけるレジリエンスの概念に引き継がれている。

b) 社会生態システムにおけるレジリエンスの概念

Holling³⁷⁾によって提唱された生態学的レジリエンスの概念は、1990年代以降、生態システムから社会生態システムに拡張されてレジリエンスの概念が構築されるようになった。これは、生態システムと社会システムは相互に影響を与え合う関係であり、生態システムの振舞いを理解するためには二つのシステム間の相互作用を考慮し、システム全体を包括的に捉える枠組みが必要であると考えられるようになったためである^{44), 45)}。社会生態システムでは、生態システムと同様に複数の平衡状態が存在することを前提としている。複数存在する平衡状態に

は、望ましい平衡状態と望ましくない平衡状態があるとされる^{46),47)}。

社会生態システムにおけるレジリエンスの概念は、社会システムと生態システムの相互作用を考慮しながらシステムを望ましい状態に管理するための枠組みである。社会生態システムは複雑適応システムと考えられており、社会生態システムのレジリエンスには自己組織化と学習・適応能力の概念が導入された。Carpenter et al.⁴⁸⁾は、社会生態システムのレジリエンスを、(i) システムが現在の平衡状態に留まりながら、許容することのできる外力の総量（外力を受容する能力）、(ii) システムの自己組織化能力、(iii) システムの学習・適応力を向上させる能力、から成るとしている。

社会生態システムのレジリエンスの概念の特徴は、生態システムが望ましくない平衡状態に遷移した場合、社会システムがその状態に適応して自らを再構築する能力が含まれることである。本稿では、この能力を適応的再構築能力とする。社会生態システムの適応的再構築の事例としては、牧草地において畜産を営んでいた社会生態システムが干ばつによって牧草地が荒廃し、畜産の成立が困難となった際、残された野生動物を保護しながらエコツーリズムによって生計を立てるシステムへと転換した例がある⁴⁹⁾。社会生態システムの概念では、システムが外力を受けた後、元の平衡状態に留まることができない場合でも、別の望ましい平衡状態に移行することができればよいと考えられている。

(2) 自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念

自然災害対策分野においてシステムを対象とするレジリエンスの概念は、(i) システムの安定性としてのレジリエンスの概念、(ii) システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念の2種類に分類できる。

(i) システムの安定性としてのレジリエンスの概念は、主に生態システムにおける工学的レジリエンスの概念の影響を受けている。一方で、(ii) システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念は、社会生態システムにおけるレジリエンスの概念の影響を受けている。本節では、まず自然災害対策分野においてレジリエンスの概念の対象とされているシステムについて説明する。次に、2つのレジリエンスの概念的枠組みについて説明する。

a) システムとしての都市、コミュニティ

システム・アプローチでは、都市、コミュニティを、住民の生活や企業の活動を支える機能を有するシステム（都市システム）とみなす。都市やコミュニティは、物理システム（physical system）、社会・経済システム（socio-economic system）、制度・組織システム（institutional/organizational system）のサブシステムから成

るシステムとされる（図-1）。都市やコミュニティは、そのサブシステムやその構成要素が相互に影響しあうことにより形成される^{48),49),50),51),52),7),53)}。

物理システムは、都市やコミュニティにおけるあらゆる活動を支える物理環境を指す。物理システムは、自然環境（natural environment）および人工環境（built environment）に分けることができる。自然環境は、地形、水文、気象、植生、土壌などから成る。人工環境は電気・ガス・上下水道・通信、道路・鉄道などのインフラストラクチャー、建築物（住宅、事務所、工場など）・設備、農地などから成る。

社会・経済システムは、物理システムの上に成り立っているサブシステムであり、住民や企業の活動により形成される。社会・経済システムでは、住民、企業により各々必要な財・サービス、資本、労働力の交換が行われる。また、社会・経済システムにおける活動を通して建築物など一部の人工環境が構築される。社会・経済システムにおける活動は、システムを構成する人口属性（年齢、性別、職業、人種、教育水準など）や企業属性（業種、規模など）、社会的ネットワーク（地縁組織、商工会など）に影響される^{54),52),7)}。

制度・組織システムは、物理システム、社会・経済システムを公共・公益性の観点から直接的あるいは間接的に管理することを目的とした組織や制度から成る。これに該当する組織は、行政組織、または道路・鉄道、電気・ガス・上下水道・通信インフラ、公営住宅など公共・公益性の高い人工環境の建設・管理を行う公共・公益団体である⁴⁸⁾。制度には、人工環境の構築を管理するための土地利用計画・都市計画制度などがある^{56),49)}。ま

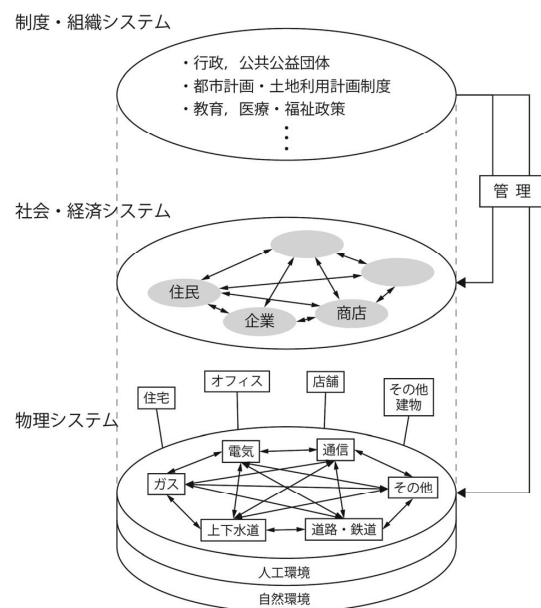


図-1 システムとしての都市、コミュニティの構造

た、これらの組織や制度によって、教育や医療・福祉などの公的サービスも提供される。

都市システムは、物理システム、社会・経済システム、制度・組織システムを通して住民の生活や企業の活動を可能とする環境を構築する機能を有していると考えることができる。

b) 安定性としてのレジリエンスの概念

この概念では、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、レジリエンスはシステムの安定性として定義されている。システムの安定性とは、

(i) システムがハザードに曝された時に、その状態・機能を可能な限り保持する能力、(ii) 状態・機能が損なわれた場合においても迅速に被災前の水準（あるいは許容可能な水準）まで回復する能力、から成るとされる^{57), 48), 53), 50), 59), 60), 61), 62)}。Bruneau et al.⁴⁸⁾は、(i) の性質を頑健性 (Robustness)、(ii) の性質を迅速性 (Rapidity) と定義し、レジリエンスを構成する要素としている。一方、(ii) の性質のみをレジリエンスとして定義する場合もある。この場合、(i) の性質をレジスタンス (Resistance)、(ii) の性質をレジリエンスと定義する^{20), 63), 64), 65)}。レジリエンスの定義自体は異なるが、どちらの場合もシステムの安定性に着目し、安定性を2つの構成要素に分解して概念を構築している点では共通している。本稿では、(i) の性質を「頑健性」、(ii) の性質を「回復力」として議論を進める。

安定性としてのレジリエンスの概念的枠組みでは、システムがハザードによる被害を受けた時の挙動を概念的に示すと、図-2 のように表される。図-2 の縦軸は「システムの状態」を、横軸は「時間」を表す。システムの状態は、そのシステムが有する機能を発揮できる程度を

左右するものであり、ハザードによる影響を受けると低下する。対象とするシステムにより、その状態を表す指標を設定することができる。例えば、電気・ガス・上下水道・通信システムなどの人工環境を対象とした場合、「システムの状態」は各システムの稼働率によって表される^{20), 48)}。一方、都市システム全体を対象とした場合、被災した都市システムの状態は、被災地域の居住人口、労働人口、地域総生産 (Gross Regional Product (GRP))、就学率、住宅の供給数などの指標によって表される^{48), 53), 60), 59), 53), 54)}。

都市システムの頑健性は、ハザードに曝された時にそのシステムの状態・機能を可能な限り保持する性質である。図2において、頑健性は被災前のシステムの状態の水準に対する被災直後のシステムの状態の水準によって計測される。

システムの頑健性を向上させるには、一つ目にハザードを考慮した土地利用によって建物や施設の立地を管理することにより、被害を軽減することがあげられる⁵⁰⁾。二つ目に、人工環境のハザードに対する感受性を改善することがあげられる。地震に対してはライフライン設備、建物の構造強度の向上、水害に対しては建物地盤の嵩上、ピロティ式建物などの例が考えられる。三つ目に、ライフラインの代替性 (redundancy) の確保があげられる⁴⁸⁾。例としては、非常用電源の確保などが考えられる。四つ目に、緊急対応策があげられる。安全な避難場所の設置、避難警報システム、避難計画の整備などの人的被害を防止軽減する対策、消防・水防活動などの物理的被害を軽減する対策が含まれる。

都市システムの回復力は、ハザードによって損なわれた状態・機能を迅速に被災前の水準（あるいは許容可能な水準）まで回復しようとする性質である。ただし、都市システムは、被災後、必ずしも被災前の水準に戻るとは限らない。そのため、システムの回復力には、被災後にシステムがどの程度の水準まで回復するかを決定する能力も含まれる⁵³⁾。図-2 において、回復力は、(i) システムが被災前の状態に対して回復可能な水準、そして、システムが被災前の水準（あるいは許容可能な水準）まで回復可能な場合は、(ii) その水準まで回復するのにかかる時間あるいは回復する速度によって計測される。

システムの状態・機能の回復は、人工環境および社会経済システムの回復によって決定される。社会経済システムの回復のためには、まず、電気・ガス・上下水道・通信、道路・鉄道などの主要な人工環境の回復が必要となる。主要な人工環境の回復に伴い、住宅や建物、設備の再建を経て、住民や企業が回帰し、生活・活動を再開することによって社会経済システムが回復する。

都市システムの回復力に影響を与える要因は、物理的要因、経済的要因、社会的要因、制度・組織的要因に分

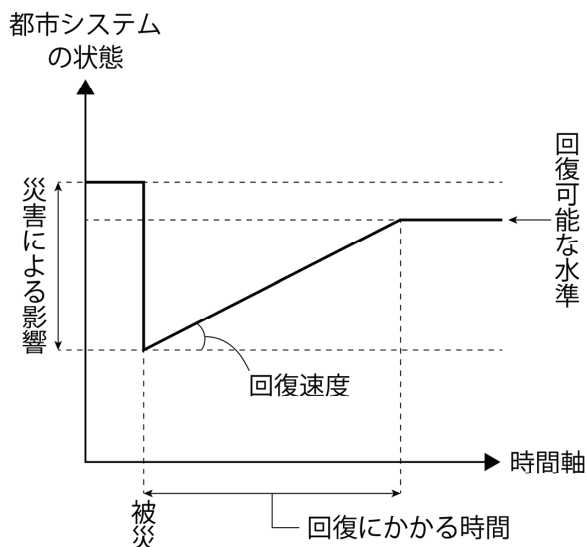


図-2 安定性としてのレジリエンスの概念

類できる。物理的要因とは、電気・ガス・上下水道・通信、道路・鉄道など、主要な人工環境の回復状況である。これらの人工環境の回復は、修繕のしやすさに係わるインフラ構造、各担当組織の緊急対応計画の整備状況および対処能力によって決定される。経済的要因には、住民の所得や貯蓄、雇用状況、企業の財務状況、業務継続計画（BCP）の有無がある。社会的要因には、コミュニティの団結力の強さ、コミュニケーション能力、問題解決能力、社会からの（非公的な）支援の有無（外部とのネットワーク）、地域における組織間の連携・協働、地域への愛着、教育水準、技能がある。制度・組織的要因には、公的な支援の有無、ゾーニングや建築規制などの計画、行政組織間の連携がある（表-1）^{48),55),67),68),69),70),71)}。

システムの回復では、構成要素が他の要素の回復状況に影響を受けること、つまり構成要素間の相互作用を考慮する必要がある。電気・ガス・上下水道・通信、道路・鉄道などのインフラは、他のインフラに依存している場合がある。例えば、通信システムや鉄道システムは電気システムに依存しているため、電気システムの復旧が前提条件となる。そのため、あるシステムの回復力を評価する場合、他のシステムとの相互の関係性を考慮する必要がある⁷²⁾。社会経済システムにおいても住民の回帰は生活利便施設である小売店の回帰に影響を受けるこ

表-1 都市システムの回復力に影響を与える要因

| | 要因 |
|-------|--|
| 物理的要因 | (主要な人工環境の回復に関する要因) ・インフラ構造の修繕のしやすさ ・各担当組織の対処能力 ・緊急対応計画の整備状況 |
| 経済的要因 | (住民に関する要因) ・所得、貯蓄 ・雇用状況 (企業に関する要因) ・財務状況 ・業務継続計画の有無 (都市における要因) ・経済的資源の多寡、多様性 |
| 社会的要因 | (住民に関する要因) ・地域への愛着 ・教育水準、職能 (都市、社会における要因) ・コミュニティの団結力の強さ、問題解決能力、コミュニケーション能力 ・非公的な社会による支援の有無 ・地域における組織間の連携、協働 |
| 制度的要因 | ・公的な支援の有無 ・被災後の都市計画 ・行政組織間の連携 |

とが指摘されている⁷³⁾。また、企業の再建も顧客（住民あるいは取引先の企業）や供給業者、従業員の回復状況に影響を受けることが指摘されている⁷⁴⁾。

システムが災害により受ける影響が大きい場合、システムは回復する能力を失い、被災前の水準（あるいは許容可能な水準）まで回復できない可能性もある。システムが被災前の水準まで回復できない事例として、林は、大航海時代にスペインと並んで世界の最強国であったポルトガルが、1755年のリスボン地震による被害を契機に国力が徐々に衰退し、今日まで回復できていないことを指摘している⁶¹⁾。Mens et al.は、システムが回復力を失い、被災したまま回復しない状況を、生態学的レジリエンスの概念に因んで「レジーム・シフト」としている⁵⁹⁾。

c) 適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念

この概念では、都市システムには被災前の状態の他にも望ましい状態が複数存在する可能性があることを前提としており、その範囲内で都市システムが従前とは異なる状態へと変化することを許容している。このアプローチにおけるレジリエンスは、都市システムが被災した際、そのシステムが置かれている環境に適応し、都市システムが望ましい状態へと自身を再構築する能力であると定義できる^{49),52),4)}。

ある都市システムにとってどのような状態が望ましいかは、都市システムの構成要素がそのシステムに求める状態・機能によって決定される。構成要素がシステムに求める状態・機能は、文化や地域、時代によって異なる。そのため、都市システムにとって望ましい状態も文化や地域、時代によって変化するとされる⁴⁾。ただし、システムの望ましい状態を決定するための指標に関して、既往研究では、Norris et al.が人々の精神的な健康状態（mental and behavioral health）、日常役割機能（role functioning）、クオリティ・オブ・ライフ（quality of life (QOL)）をあげているに留まる。

都市システムの状態が複数の指標によって測定可能であるとすると、都市システムの状態はそれらの指標から成る状態空間に示すことができる。さらに、都市システムにとって望ましい状態が複数存在することを前提とすると、この状態空間に望ましい状態の領域を示すことが可能である。図-3では、便宜上、2つの指標（ c_1 、 c_2 ）で都市システムの状態空間および望ましい状態の領域を表現した。

図-3において、適応的再構築能力としてのレジリエンスを考える。被災前に S_b にあった都市システムが災害による影響を受けて望ましくない状態 S_d に移行したとする。この時、システムは適応的再構築能力に応じて、被災後に到達可能な領域が決定される。この領域がシステムの望ましい状態の領域に重なる部分があれば、このシステムは望ましい状態に到達することができる。被災後にシ

システムが到達可能な領域が被災前の状態 S_b まで及んでいる場合、システムは被災前の状態を回復することが可能である。ただし、この場合でも必ずしも被災前の状態を回復する必要はなく、到達可能な別の望ましい状態へと移行することも可能である。被災後にシステムが到達可能な領域が被災前の状態に及ばない場合でも望ましい状態の領域と重なりがあれば、いずれかの望ましい状態(S_{a1} , S_{a2} , S_{a3})に到達することが可能である。図-3において、 S_b , S_{a1} , S_{a2} , S_{a3} はいずれもこの都市システムにとって望ましい状態であるが、望ましさを構成する指標の組成が異なるため、望ましさの方向性が異なっていると言える。

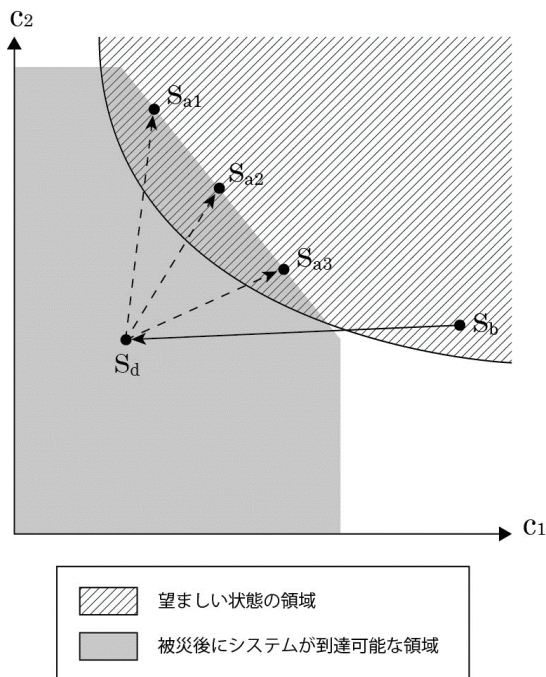


図-3 都市システムの状態空間と望ましい状態

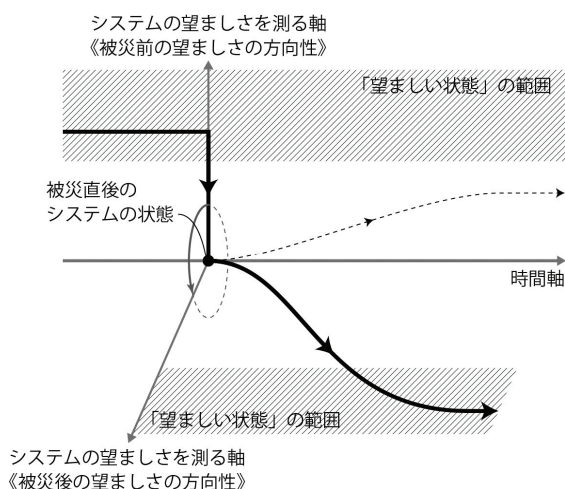


図-4 適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念

以上を踏まえて、適応的再構築能力としてのレジリエンスを時間軸も含めて概念的に表すと、図-4のように表現することができる。横軸は時間軸、時間軸と垂直に交わる軸は都市システムの状態を表しており、システムの望ましさを測る軸である。システムの望ましさを測る軸を極座標を用いて表しており、偏角の違いが望ましさの方向性の違いを表す。被災したシステムが、被災前の望ましさの方向性の軸において「望ましい状態」の範囲に到達しない場合でも、別の望ましさの方向性の軸において「望ましい状態」の範囲に到達することができれば、十分なレジリエンスを有していると考えられる。

システムにとって望ましい状態は複数存在し、文化や地域によって異なり、時代によって変容する可能性があるが、望ましい状態を実現するための要因、すなわち適応的再構築能力を決定する要因は、「安定性としてのレジリエンス」の概念の回復力と同様の要因(表-1)で構成されている^{7), 52)}。ただし、適応的再構築能力としてのレジリエンスでは、これらの要因に加えて、システムを取り巻く環境の変化に対するコミュニティや行政組織の柔軟性、適応・学習する能力が、その要因に含まれることが特徴である。

4. 自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の整理

これまでに説明した脆弱性、レジリエンスの概念の各アプローチの特徴と変遷について、図-5にまとめる。自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念は、脆弱性評価の枠組みからシステム・アプローチへと発展する中で、生態システムおよび社会生態システム分野からの影響も受けつつ変化してきた。本章では、自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の特徴について整理する。

自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念は、個人、集団が住宅や生計手段を回復する能力としても用いられるが、近年では、システムが望ましい状態に到達する能力として用いられるようになった。個人や集団を対象としたレジリエンスの概念と比較すると、都市やコミュニティをシステムとみなすシステム・アプローチでは、レジリエンスに影響を与えるとされる要因が多様であり、構成要素間の相互作用も考慮する必要がある。

システム・アプローチにおける二つのレジリエンスの概念を比較すると、両者の最も大きな違いは、被災後に都市システムが到達すべき「望ましい状態」の定義である。「安定性としてのレジリエンスの概念」では、都市システムの望ましい状態を被災前の状態としている。一方、「適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念」では、都市システムの望ましい状態は必ずしも被災前の

状態だけでなく、複数存在する可能性があるとしている。被災前の状態も複数存在する望ましい状態の一つであるとするならば、「安定性としてのレジリエンスの概念」は、「適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念」に内包される概念であると考えられることもできる。

5. 都市のレジリエンスの今後の方向性

既往研究のレビューを踏まえて、自然災害に対する都

市のレジリエンスの概念の今後の方向性を考察する。

序章で述べたように、今後発生が想定される大規模災害に備えて、都市がある程度大きな被害を受けた場合においても望ましい状態に再構築する能力を担保できるように、都市のレジリエンス管理の枠組みを構築する必要がある。今後、都市のレジリエンス管理の枠組みを検討する際、(1) 都市を複数のシステムから成るシステムとして枠組みを検討すること、(2) 「適応的再構築能力としてのレジリエンス」として枠組みを構築すること、が求められると考えられる。

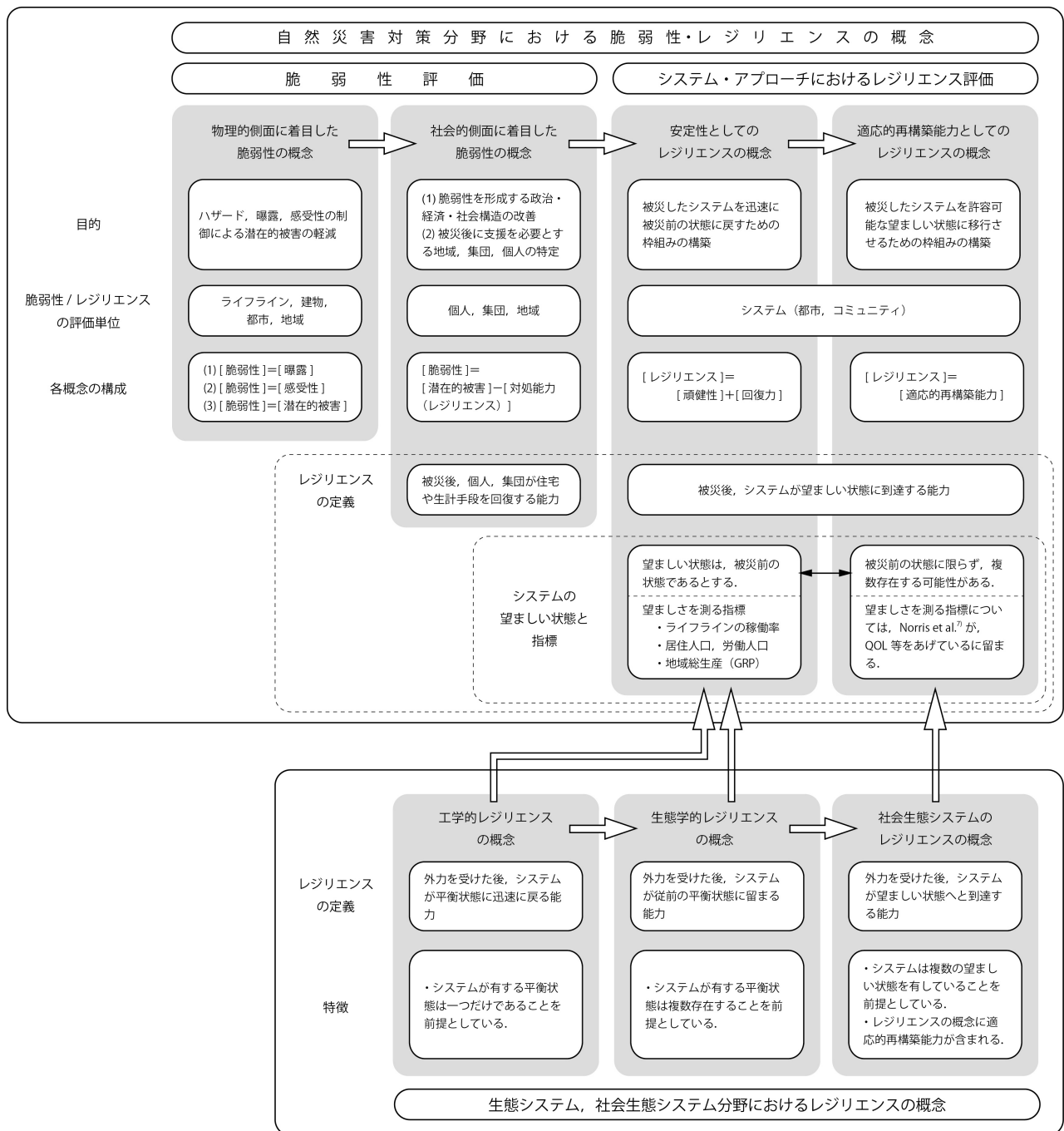


図-5 脆弱性・レジリエンスの概念の各アプローチとその変遷

まず、都市を複数のシステムから成るシステムとして、レジリエンスの概念的枠組みを検討する必要がある。既往研究においても都市を多様な構成要素から成るシステムとみなし、レジリエンスの概念的枠組みを提示している研究はあるが、今後は都市システムの構成要素間の相互作用がシステム全体の状態に与える影響をより包括的にとらえた枠組みが求められる。近年、対象とするシステムを複数のシステムから成る複雑系とみなし、複数のシステムが相互作用しながら自律的に発展していくことに着目したシステム・オブ・システムズ（system of systems）のアプローチに基づき、システムのレジリエンスの概念を構築しようとする考え方が見られる^{75, 76}。グローバル経済化、ICTの技術革新にともない、昨今の都市が内部あるいは外部の多様なシステムから影響を受ける複雑系であることを踏まえると、都市システムをシステム・オブ・システムズとみなし、対象システム内外のシステムとの相互作用の影響も考慮した都市システムのレジリエンスの概念を検討していく必要がある。

次に、都市システムのレジリエンスの概念的枠組みを検討するには、「適応的再構築能力としてのレジリエンス」として概念的枠組みを構築することが望ましいと考えられる。都市システムの状態は、気候変動、人口動態

や産業構造の変化など、都市を取り巻く物理的、社会・経済的環境の変化を受けて変動するため、現時点で望ましい状態にある都市システムが、災害の影響を受けない場合でも徐々に望ましくない状態に移行する可能性がある。被災したシステムが、一度は望ましい状態に到達した場合でも、環境の変化を受けて、一定期間後に望ましくない状態に移行する可能性もある。また、災害は社会・経済的環境の変化のトレンドを加速させることも指摘されている⁷⁷。そのため、被災後に到達可能な望ましい状態の選択肢として、都市システムは、現在あるいは将来の環境の変化に対しても長期的に望ましい状態に留まることのできる選択肢を有していることが求められる。日本においても、経済の低成長や人口減少、超高齢化社会など、都市を取り巻く社会・経済的環境が変化しており、この下では、被災した都市は環境の変化に適応しながら再構築することが求められる。以上を踏まえると、都市システムの望ましい状態を被災前の状態に限定しない「適応的再構築能力としてのレジリエンス」の枠組みの方が適用性が高いと考えられる。

都市のレジリエンスを「システムの適応的再構築能力」として評価する場合、その枠組みは図-6のように表すことができる。十分なレジリエンスを有する都市シス

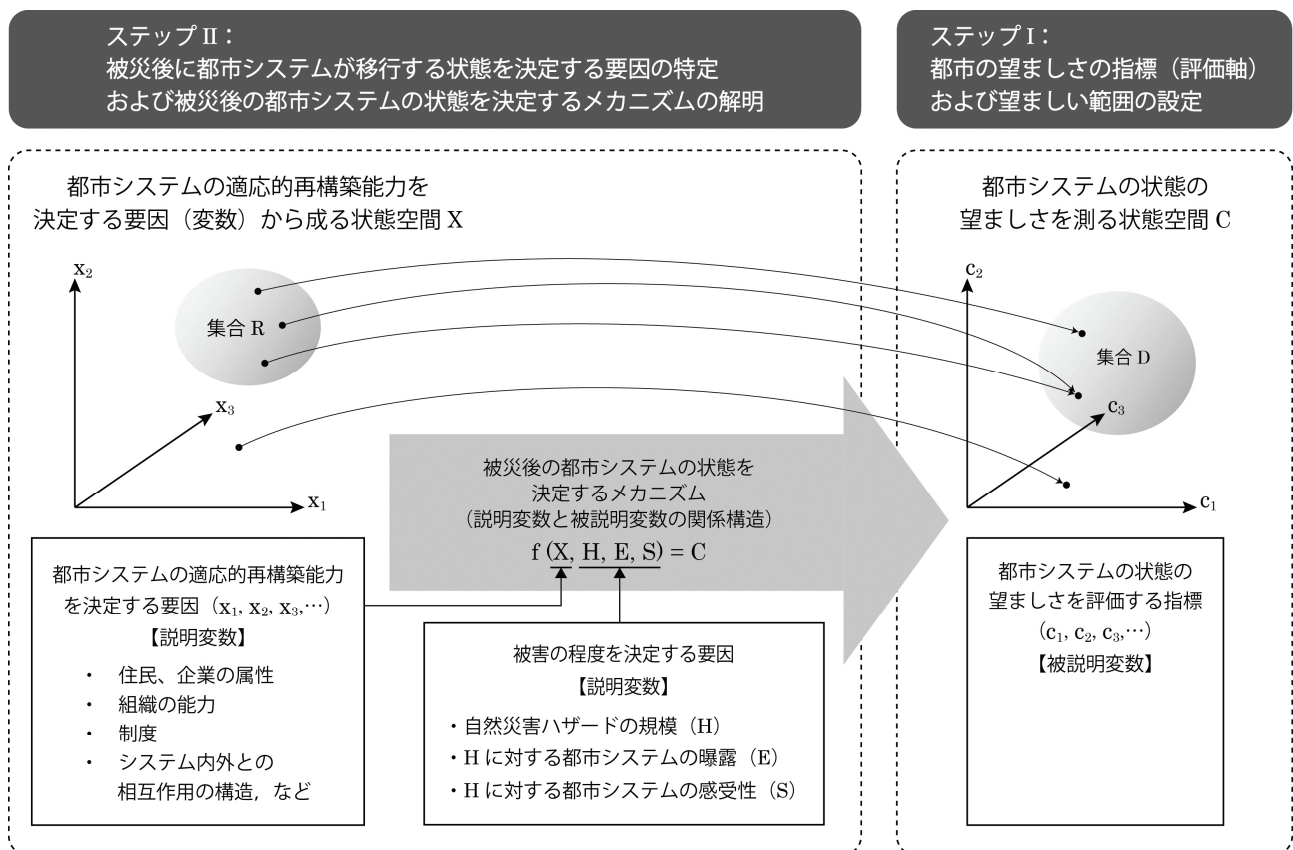


図-6 都市システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念を用いた今後の方向性

テムが被災後に望ましい状態に移行することができると仮定すると、都市システムのレジリエンスを評価するためには、まず、その都市システムにとって望ましい状態を定義する必要がある。すなわち、都市システムの状態の望ましさを評価するための指標（評価軸）、およびその状態空間Cにおける望ましい状態の範囲（図-6中の「集合D」）の設定が求められる（図-6 ステップI）。

都市システムにとって望ましい状態の定義は、評価の対象とする都市システムのスケールや望ましい状態を定める主体によって異なると考えられる。対象とするシステムのスケールについては、大都市圏全体を対象とする場合と、その大都市圏に内包される一部の地域を対象とする場合で、望ましい状態の定義が異なる可能性がある。また、同じ都市システムを対象とする場合でも、望ましい状態をどのような主体の視点で定めるかによって、多様な定義がなされる可能性がある。このように、ある都市システムにとっての望ましい状態とは、一意に定まるものではなく、多様な定義の仕方が存在し得る。都市システムにとって望ましい状態を定義する具体的な方法を示すことは今後の課題であるが、一つの考え方として、Norris et al.⁷⁾が提示するように、人々のQOLを指標とすることが考えられる。近年、QOLは、社会資本整備の政策評価の尺度としても用いられている⁷⁸⁾。都市を構成する人々のQOLが最低限の水準を満たすべきであることを前提とすると、都市システムがその水準を達成可能な状態にあることが、いずれの都市にも共通する必要条件としての望ましさとなる。さらに、十分条件としての望ましさは、対象の都市システムの有する文化や周辺の都市との関係性など、その都市の特性に応じてそれぞれ決定されるべきものと考えられる。

次に、望ましい状態が定義されたとすると、都市システムのレジリエンスの評価のためには、その望ましさを指標に照らして、被災した都市システムが潜在的にどのような状態に移行するかを解明する必要がある。被災後に都市システムがどのような状態に移行するかは、被害の程度と都市システムの適応的再構築能力（レジリエンス）によって決定されると考えられる。被害の程度は、ハザードの規模とそのハザードに対する都市システムの暴露、感受性によって決定される。また、適応的再構築能力は、都市システムを構成する住民や企業の属性、都市システムが備えている制度や組織の能力、システム内外との相互作用の構造などの要因によって決定される。被害の程度と適応的再構築能力を説明変数としたときに被災後に都市システムが移行する状態（被説明変数）を決定するメカニズム、すなわち説明変数と被説明変数の関係の構造を解明することが求められる。この構造を解明することができれば、自然災害の規模とその災害に対する都市システムの暴露と感受性が与えられたとき、そ

の都市システムが被災後に望ましい状態（状態空間Cにおける集合D）に移行することのできる状態空間Xにおける集合Rを特定することができる。このとき、状態空間Xの集合R内にある都市システムが、与えられた被害の程度に対して十分な適応的再構築能力を有していることができる（図-6 ステップII）。

以上のような枠組みが構築されれば、望ましい状態の定義に応じて、その都市システムのレジリエンスを評価することが可能となる。さらに、その評価に基づき、都市システムのレジリエンスを十分な状態に保持あるいは改善するための対策を検討することが可能となる。

謝辞：本研究は、文部科学省グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）事業環境情報分野「環境情報技術を用いたレジリエントな国土のデザイン」により実施された。また、査読者の皆様からは本研究の内容に関して適切なご指摘とご助言を頂いた。深く感謝の意を表したい。

付録（補注）

注1) 1 the ability to become strong, happy, or successful again after a difficult situation or event

2 the ability of a substance such as rubber to return to its original shape after it has been pressed or bent

注2) Timmermanは、“Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society” (Environmental Monograph No.1, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981)の中で、レジリエンスを“the ability of human communities to withstand external shocks or perturbations to their infrastructure and to recover from such perturbations”と定義している⁷⁹⁾。

注3) Scheffer et al.⁴²⁾は、レジーム・シフトの事例として、湖沼の富栄養化の他に、サンゴ礁の消失、森林地帯の草原地帯への変化、乾燥地帯の砂漠化などをあげている。

参考文献

- 1) 東京大学大学院工学系研究科 緊急工学ビジョン・ワーキンググループ：震災後の工学は何をめざすのか、東京大学大学院，2011 < <http://www.t.u-tokyo.ac.jp/epage/topics/pdf/vision.pdf> > (access: 2014/4/11)
- 2) 日本建築学会：特集：東日本大震災 1 周年 リジリエント・ソサエティ，建築雑誌，Vol. 127, No. 1629, 2012.
- 3) Klein, R., Nicholls, R. and Thomalla, F. : Resilience to natural hazards: How useful is this concept?, *Environmental Hazards*, Vol. 5, No. 1, pp. 35-45, 2003.
- 4) Lorenz, D. : The diversity of resilience: contributions from a social science perspective, *Natural Hazards*, Vol. 67, No.

- 1, pp. 7-24, 2010.
- 5) Masten, A., Best, K. and Garmezy, N. : Resilience and development: Contributions from the study of children who overcome adversity, *Development & Psychopathology*, Vol. 2, pp. 425-444, 1990.
- 6) Waller, M. : Resilience in ecosystemic context: Evolution of the concept, *American Journal of Orthopsychiatry*, Vol. 71, pp. 290-297, 2001.
- 7) Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F. and Pfefferbaum, R. L. : Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness, *American Journal of Community Psychology*, Vol. 41, No. 1-2, pp. 127-150, 2008.
- 8) Longman, P. : *Longman Dictionary of Contemporary English*, 5th ed., Longman ESL, Harlow, 2009.
- 9) Hashimoto, T., Stedinger, J. and Loucks, D. : Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, *Water Resource Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20, 1982.
- 10) 藤井聡, 久米功一, 松永明, 中野剛志 : 経済の強靱性 (Economic Resilience) に関する研究の展望, RIETI Policy Discussion Paper Series 12-P-008, 独立行政法人経済産業研究所, 2012.
- 11) Eakin, H. and Luers, A. : Assessing the vulnerability of social-environmental systems, *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 3, No. 11, pp. 365-394, 2006.
- 12) UN/ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat) : *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters*, UN/ISDR, Geneva, 2007.
- 13) Council of Australian Governments : *National Strategy for Disaster Resilience*, Attorney-General's Department, Australian Government, 2011.
- 14) FEMA (Federal Emergency Management Agency) : *Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic action in an Age of Uncertainty*, FEMA, 2012.
- 15) The World Bank : *Building Resilience – Integrating Climate and Disaster Risk into Development*, The World Bank, Washington DC, 2013. <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/SDN/Full_Report_Building_Resilience_Integrating_Climate_Disaster_Risk_Development.pdf> (access: 2014/10/6).
- 16) Cutter, S., Mitchell, J. and Scott, M. : Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 90, No. 4, pp. 713-737, 2000.
- 17) Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. and Schiller, A. : A framework for vulnerability analysis in sustainability science, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 100, No. 14, pp. 8074-8079, 2003.
- 18) White, G. and Haas, E. : *Assessment of Research on Natural Hazards*, 3rd ed., The MIT Press, Cambridge, 1975.
- 19) Burton, I., Kates, R. and White, G. : *The Environment As Hazard*, 2nd ed., The Guilford Press, New York, 1993.
- 20) Dow, K. : Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change, *Geoforum*, Vol. 23, No. 3, pp. 417-436, 1992.
- 21) UNDRO (Office of United Nations Disaster Relief Coordinator) : *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, UNDRO, Geneva, 1979.
- 22) Ambraseys, N. and Jackson, J. : Earthquake hazard and vulnerability in the northeastern Mediterranean: the Corinth earthquake sequence of February-March 1981, *Disasters*, Vol. 5, No. 4, pp. 355-368, 1981.
- 23) Alexander, D. : The study of natural disasters, 1977-1997: Some reflections on a changing field of knowledge, *Disasters*, Vol. 21, No. 4, pp. 284-304, 1997.
- 24) Fussler, H. M. and Klein, R. : Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking, *Climatic Change*, Vol. 75, No. 3, pp. 301-329, 2006.
- 25) Hewitt, K. : The idea of calamity in a technocratic age, In : Hewitt, K. (Ed.), *Interpretations of Calamity*, Unwin Hyman, Boston, pp. 3-32, 1983.
- 26) Bankoff, G. : Rendering the world unsafe: 'vulnerability' as western discourse, *Disasters*, Vol. 25, No. 1, pp. 19-35, 2001.
- 27) Susman, P., O'Keefe, P. and Wisner, B. : Global disasters, a radical interpretation, In : Hewitt, K. (Ed.), *Interpretations of Calamity*, Unwin Hyman, Boston, pp. 263-282, 1983.
- 28) O'Keefe, P., Westgate, K. and Wisner, B. : Taking the naturalness out of natural disasters, *Nature*, Vol. 260, pp. 566-567, 1976.
- 29) Morrow, B. : Identifying and mapping community vulnerability, *Disasters*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-18, 1999.
- 30) Wisner, B. and Luce, H. R. : Disaster vulnerability: Scale, power and daily life, *GeoJournal*, Vol. 20, No. 2, pp. 127-140, 1993.
- 31) Adger, N. : Vulnerability, *Global Environmental Change*, Vol. 16, pp. 268-281, 2006.
- 32) Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. and Davis, I. : *At Risk*, 2nd ed., Routledge, New York, 2004.
- 33) Pelling, M. : *The Vulnerability of Cities*, 1st ed., Earthscan, London, 2003.
- 34) Anderson, M. B. and Woodrow, P. J. : *Rising from the Ashes, Development Strategies in Times of Disaster*, Intermediate Technology Publication, London, 1998.
- 35) Cutter, S. L. : Vulnerability to environmental hazards, *Progress in Human Geography*, Vol. 20, No. 4, pp. 529-539, 1996.
- 36) Ainuddin, S. and Routray, J. : Earthquake hazards and community resilience in Baluchistan, *Natural Hazards*, Vol. 63, No. 2, pp. 909-937, 2012.
- 37) Holling, C. S. : Resilience and stability of ecological system, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, Vol. 4, pp. 1-23, 1973.
- 38) Janssen, M., Schoon, M., Ke, W. and Börner, K. : Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change, *Global Environmental Change*, Vol. 16, pp. 240-252, 2006.
- 39) Holling, C. S. : Engineering resilience versus ecological resilience, In : Schulze, P. C. (Ed.), *Engineering Within Ecological Constraints*, The National Academy of Sciences, Washington DC, pp. 31-43, 1996.

- 40) Gunderson, L. : Ecological Resilience – In Theory and Application, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 31, pp. 425-439, 2000.
- 41) 島田周平 : 生態システムと社会システムの非対称的関係性とレジリエンス研究, 社会・生態システムの脆弱性とレジリエンス 総合地球環境学研究所 平成 19 年度 PR 研究プロジェクト報告, 梅津千恵子編, pp. 205-211, 2008.
- 42) Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. and Walker, B. : Catastrophic shifts in ecosystems, *Nature*, Vol. 413, pp. 591-596, 2001.
- 43) Scheffer, M. and Carpenter, S. : Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation, *TRENDS in Ecology and Evolution*, Vol. 18, No. 12, pp. 648-656, 2003.
- 44) Gunderson, L. H. and Holling, C. S. : *Panarchy—Understanding Transformations in Human and Natural Systems*—, Island Press, Washington, 2002.
- 45) Folke, C. : Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses, *Global Environmental Change*, Vol. 16, No. 3, pp. 253-267, 2006.
- 46) Carpenter, S., Walker, B., Anderies, M. J. and Abel, N. : From metaphor to measurement: Resilience of what to what?, *Ecosystems*, Vol. 4, pp. 765-781, 2001.
- 47) Walker, B., Holling, C., Carpenter, S. and Kinzig, A. : Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems, *Ecology and Society*, Vol. 9, No. 2, 2004. <<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>> (access: 2013/12/5).
- 48) Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, T., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. and von Winterfeldt, D. : A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, *Earthquake Spectra*, Vol. 19, No. 4, pp. 733-752, 2003.
- 49) Godschalk, D. : Urban hazard mitigation: Creating resilient cities, *Natural Hazards Review*, Vol. 4, No. 3, pp. 136-143, 2003.
- 50) De Bruijn, K. M. : Resilience and flood risk management, *Water Policy*, Vol. 6, pp. 53-66, 2004.
- 51) De Bruijn, K. M., Green, C., Johnson, C. and McFadden, L. : Evolving concepts in flood risk management: Searching for a common language, In : Begum, S., Stive, M. J., Hall, J. W. (Ed.), *Flood Risk Management in Europe*, Springer, Dordrecht, pp. 61-75, 2007.
- 52) Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E. and Webb, J. : A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, *Global Environmental Change*, Vol. 18, pp. 598-606, 2008.
- 53) Mens, M., Klijn, F., de Bruijn, K. M. and van Beek, E. : The meaning of system robustness for flood risk management, *Environmental Science & Policy*, Vol. 14, pp. 1121-1131, 2011.
- 54) Mens, M., Klijn, F. and Schielen, R. : Enhancing flood risk system robustness in practice, In : Klijn, F., Schweckendiek, T. (Ed.), *Comprehensive Flood Risk Management*, Taylor & Francis Group, London, pp. 1109-1116, 2012.
- 55) De Bruijn, K. M. : Resilience indicators for flood risk management systems of lowland rivers, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 2, No. 3, pp. 199-210, 2004.
- 56) Burby, R., Deyle, R. and Godschalk, D. : Creating hazard resilient communities through land-use planning, *Natural Hazards Review*, Vol. 1, No. 2, pp. 99-106, 2000.
- 57) Tobin, G. : Sustainability and community resilience: the holy grail of hazards planning?, *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, Vol. 1, No. 1, pp. 13-25, 1999.
- 58) Shinozuka, M., Chang, S., Cheng, T., Feng, M., O'Rourke, T., Saadeghvaziri, M., Dong, X., Jin, X., Wang, Y. and Shi, P. : Resilience of integrated power and water systems, *Research Progress and Accomplishments: 2003-2004*, MCEER, pp. 65-86, 2004.
- 59) 中須正 : 災害からの都市の回復力—名古屋市・ニューオリンズの比較—, 防災科学研究所報告, 第 75 号, 2009.
- 60) Longstaff, P., Armstrong, N. J., Perrin, K., Parker, W. M. and Hidek, M. A. : Building resilient communities a preliminary framework for assessment, *Homeland Security Affairs*, Vol. 6, No. 3, pp. 1-23, 2010.
- 61) 林春男 : 災害から立ち直る力=レジリエンスを, 教育と医学, Vol. 60, No. 7, pp. 632-641, 2012.7.
- 62) 梶谷義雄, 横松宗太, 多々納裕一, 安田成夫 : 東日本大震災後の電力供給不足に対する産業部門のレジリエンスの分析, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, No. 5, pp. 181-188, 2013.
- 63) Buckle, P., Mars, G. and Smale, R. : New approaches to assessing vulnerability and resilience, *Australian Journal of Emergency Management*, Vol. 15, No. 2, pp. 8-15, 2000.
- 64) Geis, D. : By design: the disaster resistant and quality-of-life community, *Natural Hazards Review*, Vol. 1, No. 3, pp. 151-160, 2000.
- 65) McEntire, D., Fuller, C., Johnston, C. and Weber, R. : A comparison of disaster paradigms: The search for a holistic policy guide, *Public Administration Review*, Vol. 62, No. 3, pp. 267-281, 2002.
- 66) Rose, A. and Liao, S.-Y. : Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions, *Journal of Regional Science*, Vol. 45, No. 1, pp. 75-112, 2005.
- 67) 浦野正樹 : 脆弱性概念から復元・回復力概念へ—災害社会学における展開, 浦野正樹, 大屋根淳, 吉川忠寛 編 : 復興コミュニティ論入門, pp. 27-34, 弘文堂, 2007.
- 68) 原口弥生 : レジリエンス概念の射程, 環境社会学研究, Vol. 16, pp. 19-32, 2010.
- 69) 清水美香 : 東日本大震災の教訓 : 「レジリエンス」と災害マネジメントおよび公共政策の関連性, 国際公共政策研究, Vol. 16, No. 2, pp. 105-120, 2012.
- 70) 畠山慎二, 坂田朗夫, 川本篤志, 伊藤則夫, 白木渡 : コミュニティ・レジリエンスの考え方に基づくコミュニティ継続計画 (CCP) 策定手法の提案, 土木学会論文集 F6, Vol. 69, No. 2, pp. 37-42, 2013.
- 71) 畠山慎二, 坂田朗夫, 川本篤志, 伊藤則夫, 白木渡 : 地域継続の視点を考慮した企業 BCP 策定と災害レジリエンスの強化対策の提案, 土木学会論文集 F6, Vol. 69, No. 2, pp. 25-30, 2013.
- 72) Toubin, M., Serre, D., Diab, Y. and Laganier, R. : An auto-diagnosis tool to improve urban resilience: The RATP case study, In : Serre, D., Barroca, B., Laganier, R. (Ed.), *Resil-*

- ience and Urban Risk Management*, Taylor & Francis Group, London, pp. 143-150, 2013.
- 73) Xiao, Y. and Van Zandt, S. : Building community resiliency : Spatial links between household and business post-disaster return, *Urban Studies*, Vol. 49, No. 11, pp. 2523-2542, 2012.
- 74) Zhang, Z., Lindell, M. and Prater, C. : Vulnerability of community businesses to environmental disasters, *Disasters*, Vol. 33, No. 1, pp. 38-57, 2009.
- 75) Cavallo, A. : Integrating disaster preparedness and resilience: a complex approach using System of Systems, *Australian Journal of Emergency Management*, Vol. 29, No. 3, pp. 46-51, 2014.
- 76) Cavallo, A. and Ireland, V. : Preparing for complex inter-dependent risks: A System of Systems approach to building disaster resilience, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 9, pp. 181-193, 2014.
- 77) Kato, T., Bhattacharya, Y., Sugata, H. and Otagiri, R. : The six principles of recovery: A guideline for preparing for future disaster recoveries, *Journal of Disaster Research*, Vol. 8, Special Edition, 2013.
- 78) 林良嗣, 土井健司, 杉山郁夫 : 生活質の定量化に基づく社会資本整備の評価に関する研究, 土木学会論文集, No. 751/IV-62, pp. 55-70, 2004.
- 79) Zhou, H., Wang, J., Wan, J. and Huicong, J. : Resilience to natural hazards: a geographic perspective, *Natural Hazards*, Vol. 53, pp. 21-41, 2010.
- (2014. 11. 6 受付)

THE CONCEPTS OF URBAN SYSTEM RESILIENCE TO NATURAL DISASTERS

Yuto SHIOZAKI, Takaaki KATO and Hiroshi SUGATA

Recently, in the Japanese field of natural disaster risk management, the term “resilience” is frequently used relating to city’s recovery from natural disaster damage. The concept of resilience in the field of natural disaster risk management has been developed under the influence of the studies on vulnerability to natural disaster and resilience of ecological/socio-ecological system.

This paper reviews the researches of vulnerability and resilience in the field of natural disaster risk management and ecological/socio-ecological system in order to identify and analyze the relation between vulnerability and resilience and the development of these concepts. Based on the review, the concepts of urban system resilience are classified into two definitions: resilience as stability and one as adaptable regenerative ability. Also, the prospect of future research is suggested to establish the framework of urban system resilience to natural disasters.