

自然災害に対する都市のレジリエンス： 概念のレビュー

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 東京大学生産技術研究所 准教授（〒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 東京大学生産技術研究所 特任研究員（〒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。海外の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文献レビューを行い、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、①システムの安定性としてのレジリエンスの概念、②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、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の概念的枠組みを構築する上での課題を提示した。

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。自然災害による都市への被害を防止、軽減する対策だけでなく、被災後に人々の生活や生業の基盤である都市をいかに再構築させるかという視点からの対策が必要であると考えられる。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まれる。近年、日本の自然災害の分野では、被災後の都市の再構築に関連して、「レジリエンス (resilience)」という用語が頻繁に用いられている（東京大学大学院工学系研究科, 2011; 日本建築学会, 2012）^{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 (Klein et al., 2003) 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 (Lorenz, 2010) 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 (Masten & Garmezy, 1990; Waller, 2001) ^{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 (Nomis et al., 2008) ⁷⁾。Longman Dictionary of Contemporary English (Longman, 2011) ⁸⁾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^{註1)}。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。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。

都市防災の研究分野では、Timmerman (1981) ^{註2)} 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

(Klein et al., 2003; Eakin & Luers, 2006)^{3,9)}。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、海外の自然災害対策分野では、国連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 (UNISDR, 2007; Council of Australian Governments, 2011; FEMA, 2012)^{10, 11, 12)}。しかし、日本では海外の自然災害対策分野のレジリエンスに関する概念的枠組みを整理した研究は見受けられない。海外の自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の体系的な整理は、今後、日本において、被災した都市の再構築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、海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、本研究では、自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念を、①脆弱性評価におけるレジリエンスの概念 (第2章)、②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。①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。文献レビューによるレジリエンスの概念の整理を踏まえ、今後、日本においてレジリエンスの概念を用いた都市防災の枠組みを構築する上での課題を提示する (第4章)。

なお、「レジリエンス」、「脆弱性」については、多義的に使用されている用語であるため、必要に応じてその都度定義を与えるものとする。

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 (Cutter et al., 2000)¹³⁾。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」とも言われる (Turner et al., 2004; Eakin & Luers, 2006)^{14,9)}。

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 (White & Haas, 1975)¹⁵⁾。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。また、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る適切な土地利用によって行われる (Burton et al., 1993)¹⁶⁾。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 (Dow, 1992)¹⁷⁾。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 (UNDRO, 1979; Ambraseys & Jackson, 1981; Alexander, 1997)^{18, 19, 20)}。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と脆弱性を表す定義である (Eakin & Luers, 2006)⁹⁾。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 (Fussler & Klein, 2006)²¹⁾。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 (Hewitt, 1983; Tumer et al., 2003) ^{22),14)}.

(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、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 (Bankoff, 2001; Eakin & Luers, 2006) ^{23),9)}. 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 (Hewitt, 1983; Susman et al., 1983) ^{22),24)}. 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 (O'Keefe et al., 1976; Morrow, 1999) ^{25),26)}. 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。 (Wisner & Luce, 1993; Adger, 2006) ^{27),28)}. 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. (1983) ²⁴⁾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。Wisner et al. (2004) ²⁹⁾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。

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結果が短期～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属性 (例えば、職業) 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 (Wisner & Luce, 1993; Pelling, 2003; Wisner et al., 2004) ^{27),30),29)}.

b) 個人・集団の対処能力に着目したアプローチ

対処能力を考慮した脆弱性評価のアプローチ (キャパシティ・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 (Dow, 1992; Wisner et al., 2004) ^{17),29)}.

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、Wisner et al. (2004) のAccessモデルがあげられる²⁹⁾. このモデルは、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 (1996) のhazard-of-placeモデルがあげられる³¹⁾. 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。

(2) 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 (Pelling, 2003) .

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見なし、そのシステムが被災した際に、システムを望ましい状態に管理することを目的とした概念的枠組みがある。この枠組みに関するレジリエンスの定義は、①システムの安定性としてのレジリエンスの概念、②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 (Ainuddin & Routray, 2012)³²⁾。

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、Holling (1973)³³⁾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 (Janssen et al., 2006)³⁴⁾。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。Holling (1996)³⁵⁾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 (Gunderson, 2000; 島田, 2008)³⁶⁾。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 (Holling, 1996)³⁷⁾。

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 (島田, 2008)³⁷⁾。別の平衡状態

へと遷移とは、システムの振舞いを制御している変数やプロセスが変化することによ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 (Gunderson, 2000)³⁶⁾。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 (Scheffer et al., 2001; Scheffer & Carpenter, 2003)^{38), 39) 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)」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 (Holling, 1996)³⁵⁾。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

Holling (1973)³³⁾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。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。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 (Folke, 2006)⁴⁰⁾。

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. (2001)⁴¹⁾は、社会生態システムのレジリエンスを、①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)、②システムの自己組織化能力、③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。

Walker et al. (2004)⁴²⁾は、社会生態システムの管理の枠組みをレジリエンス、適応力 (adaptability)^{注3)}、トランスフォーマビリティ (transformability) の3つの概念によって示している。まず、レジリエンスを「システムの機能、構造、性質、フィードバックを維持しながら、外力を受け止め、再生する能力」と定義している。生

態システムは、グローバルな環境や社会システムからの影響によって常に変化するが、同時にそのレジリエンスの大きさも変化する。生態システムのレジリエンスを意図的に管理することにより、生態システムの状態を社会システムにとって望ましい状態となるように管理する社会システムの能力が適応力 (adaptability) である。生態システムが既存の社会システムにとって望ましくない状態となり、社会システムの適応力によってその状態から解消できない状態となった時に、位相転換的に変化した生態システムの状態を前提として社会システムを根本的に新たなシステムに作り替える能力がトランスフォーマビリティである。

(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、①システムの安定性としてのレジリエンスの概念、②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。①システムの安定性としてのレジリエンスの概念は、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、②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) と見なす。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。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複雑に影響しあうことにより形成される (Bruneau et al., 2003; Godshalk, 2003; De Bruijn, 2004a; De Bruijn et al., 2007; Cutter et al., 2008; Norris et al., 2008; Mens et al., 2011) ^{43),44),45),46),47),7),48)}。

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 (De Bruijn, 2004b; Cutter et al., 2008; Norris et al., 2008) ^{50),47),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 (Bruneau et al., 2003) ⁴⁹⁾。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 (Burby et al., 2000; Godshalk, 2003) ^{51),44)}。また、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られることができる。

b) 安定性としてのレジリエンスの概念

この概念では、被災した場合においてもシステムは被災前の状態・機能を維持することを前提としており、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、①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、②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 (被災前のトレンドを踏まえた水準、許容可能な水準) まで回復する能力、から成るとされる (Tobin, 1999; Bruneau et al., 2003; Bruijn, 2004a; Longstaff, 2010) ^{52),43),45),53)}。Bruneau et al. (2003) ⁴³⁾ は、①の性質を頑健性 (Robustness)、②の性質を迅速性 (Rapidly) と定義し、レジリエンスを構成する要素としている。一方、②の性質のみをレジリエンスとして定義する場合もある (Dow, 1990; Buckle et al., 2000) ^{17),54)}。①の性質をレジスタンス (resistance)、②の性質をレジリエンスと定義する場合もある (Dow, 1990; Geis, 2000; McEntire & Fuller, 2002) ^{17),55)}。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。本研究では、①の性質を「頑健性」、②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

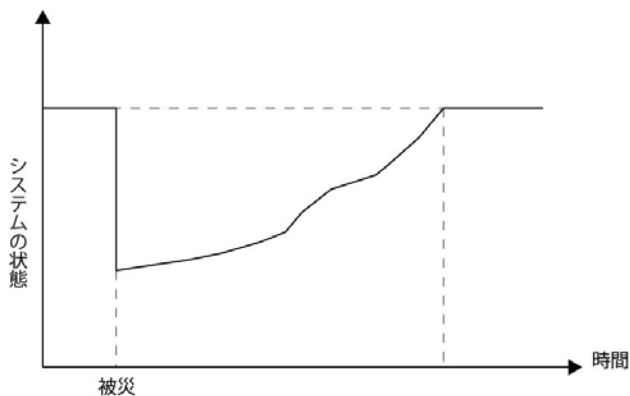


図-1 被災後のシステムの挙動
(安定性としてのレジリエンス)

に示すと、図-1のように表される。図-1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物理システムを対象とした場合、「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(Dow, 1990; Bruneau et al., 2003)^{43,48)}。一方、社会・経済システムを対象とした場合、被災地域の社会・経済システムの状態は、被災地域の居住人口、労働人口、地域総生産(Gross Regional Product (GRP))、住宅の供給数などの指標によって表される。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。また、回復力はシステムの状態が、被災してから被災前の水準(被災前のトレンドを踏まえた水準、許容可能な水準)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(Bruneau et al., 2003; De Bruijn, 2004b; Rose, 2005; Mens, 2011; Mens et al., 2012)^{43),50),57),48)}。

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。システムの頑健性を向上させるためには、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可能となる(Burby et al., 2000)⁵¹⁾。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(Bruneau et al., 2003)⁴³⁾。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

害を軽減する対策が含まれる。

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(被災前のトレンドを受けた水準、許容可能な水準)まで回復しようとする性質である。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、住民や企業が回帰することによって社会経済システムが回復する。システムの回復力に影響を与える要因は、人工環境および社会経済システムの構成要素ごとに整理される。電気・ガス・上下水道・通信、道路・鉄道などの人工環境については、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(Bruneau et al., 2003)⁴³⁾。社会経済システムの回復速度は、社会経済システムの構成要素である住民や企業の回帰によって決定される。住民や企業の回帰は、主要な人工環境であるライフラインシステムの回復、住民・企業の属性、政府からの支援策、他の住民や企業の回帰状況によって決定される。

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、単一システムごとに対応計画を検討するだけでなく、システム相互の関係性を考慮した対応計画を整備する必要がある(Toubin et al., 2013)⁵⁸⁾。社会経済システムにおいても住民の回帰が小売店の回帰と相互に相関関係があることも指摘されており、構成要素間の相互作用を考慮してシステムの回復の枠組みを構築する必要がある。

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、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、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、システムが許容可能な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(Godshalk, 2003; Norris et al., 2008; Cutter et al., 2008; Lorenz, 2010)^{44),7),47),4)}。

システムの再構築能力を決定する要因としては、システムの構成要素の経済力、社会関係資本(social capital)などが考えられており、「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で構成されている(Norris et al., 2008; Cutter et al., 2008)^{7),47)}。

表-1 自然災害対策分野に関するレジリエンス、脆弱性の概念

	自然災害対策分野				生態システム分野におけるレジリエンス		社会生態システム分野におけるレジリエンス
	物理的側面に着目した脆弱性	社会的側面に着目した脆弱性	システムの安定性としてのレジリエンス	システムの適応的再構築能力としてのレジリエンス			
主な目的	・ハザード、曝露、感受性の制御による潜在的被害の低減	・脆弱性を形成する政治・経済・社会構造の改善 ・被災後に支援の必要となる地域、集団、個人の特定	・被災したシステムを迅速に被災前の状態に戻すための枠組みの構築	・被災したシステムを許容可能な望ましい状態に移行させるための枠組みを構築する。	・生態システムの変化の挙動の解明		・社会生態システムの変化の挙動の解明 ・社会生態システムの変化を適切に管理するための枠組みの構築
レジリエンスの主体		社会的集団、個人地域	ライフライン 都市、コミュニティ	都市、コミュニティ	生態システム		社会生態システム
主要な概念	脆弱性	脆弱性	レジリエンス	レジリエンス	工学的レジリエンス	生態学的レジリエンス	社会生態学的レジリエンス
概念の主な構成要素	ハザード、曝露、感受性	対処能力(レジリエンス)	頑健性、回復速度	適応的再構築能力	回復速度	受容力	受容力、自己組織化力、適応力
概念の測定方法(定義の種類)	・脆弱性を曝露の量で測る。 ・脆弱性を感受性で測る。 ・脆弱性＝潜在的被害で測る。(ハザード×曝露×感受性)	・脆弱性を潜在的被害と対処能力を比較して測る。 ・脆弱性を対処能力の欠如で測る。	レジリエンスを被災したシステムが被災前の状態に戻るまでの時間で測る。	レジリエンスをシステムが被災した際、環境に適応し、許容可能な望ましい状態へと自身を再構築する能力と定義している。	レジリエンスをシステムが外力を受ける前の状態に戻るまでの時間、あるいは回復速度で測る。	レジリエンスを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で測る。	レジリエンスを受容力、自己組織化力、適応力から成ると定義している。
特徴	・主に物理的側面に着目している。	・脆弱性の評価の対象に、個人、集団が含まれ、被災後の対処能力、回復力が評価の指標に含まれるようになった。 ・脆弱性の概念において、レジリエンスの概念が用いられるようになった。	・都市をシステムとしてみなし、都市の回復は、都市の構成要素の相互作用に影響を受けることが考慮されている。 ・時間軸の概念が明確に考慮されるようになった。	・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いる。 ・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。	システムは外力を受けても唯一の平衡状態に戻れることを前提としている。	システムは複数の平衡状態を有しており、受ける外力の大きさによっては別の平衡状態に移ってしまう可能性があることを前提としている。	・生態システムと社会システムの相互作用を考慮している。 ・社会生態システムを複雑適応系と見なしている

4. 自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の変遷と今後の課題

(1) 自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の変遷

自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念の変遷について整理する。自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念は、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ながら変化してきた。これまでに説明した脆弱性、レジリエンスの概念の各ア

プローチについて、表-1にまとめる。

まず、脆弱性評価におけるレジリエンスの概念とシステム・アプローチにおけるレジリエンスの概念について比較を行う。レジリエンスの主体は、脆弱性評価の枠組みでは集団や個人であるが、システム・アプローチでは都市やコミュニティなどのシステムである。レジリエンスに影響を与える因子については、脆弱性の枠組みでは集団や個人の属性のみである。一方、システム・アプローチでは、都市やコミュニティの構成要素がシステム全体のレジリエンスに影響を与えるため、考慮すべき因子の種類が多様である。さらに、都市やコミュニティのレ

レジリエンスでは、システムの構成要素の相互作用を考慮する必要があることが指摘されている。また、システム・アプローチでは、安定性としてのレジリエンスの概念で、回復速度がレジリエンスの構成要素であることからわかるように、時間軸の概念が明確に考慮されている。

次に、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について比較する。この二つに概念における最も大きな違いは、被災後の都市の回復についての定義の違いである。「システムの安定性としてのレジリエンスの概念」が都市の回復を被災前の状態に戻ることとしている。一方、「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」では、都市の回復を必ずしも被災前の状態に戻ることだけでなく、都市にとって許容可能な望ましい状態へと移行することであるとしている。

(2) 今後の課題

レジリエンスの概念に関する既往研究のレビューを踏まえて、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課題を提示する。

まず、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の概念的枠組みを検討する際、「システムの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妥当であると考えられる。日本では、経済の低成長や人口減少など、都市を取り巻く社会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対応して回復することが望ましく、必ずしも被災前と同じ状態に戻ることが最適解でないと考えられるためである (Kato et al., 2013)⁵⁹⁾。

システムの適応的再構築能力としてのレジリエンスを定義して、レジリエンスの評価と対策の枠組みを構築する場合、まずその都市にとって望ましい状態あるいは許容することのできる状態を明確にする必要がある。しかし、既往研究では、システムにとって望ましい状態あるいは許容できる状態を決定するための視点や指標について論じられていない。十分なレジリエンスを有する都市が被災後に望ましい状態に移行できると仮定すると、都市のレジリエンスを評価するためには、その都市にとって望ましい状態を判断するための評価軸の設定が求められる。

次に、都市のレジリエンスの評価のためには、被災した都市システムが潜在的に移行し得る状態を構造的に理解する必要がある。被災後の都市システムの挙動は、被災直後の都市の状態、および、あらかじめ都市が備えている制度や組織の能力によって決定されると考えられる。これらの要因が関係しあい、被災後の都市システムの挙動が決定されるメカニズムを解明することが求められる。

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。

付録 (付注)

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 (Zhou et al., 2009)⁶⁰⁾。

注3) Scheffer et al. (2001)³⁸⁾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.tu-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., 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., 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., 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) Eakin, H., Luers, A. : Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. Annual Review of Environment and Resources, Vol.3, No.11, pp. 365-394, 2006.
- 10) 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.
- 11) Council of Australian Governments : National Strategy for Disaster Resilience. Attorney-General's Department, Australian Government. 2011.
 - 12) FEMA (Federal Emergency Management Agency) : Crisis Response and Disaster Resilience 2030: Forging Strategic action in an Age of Uncertainty. FEMA. 2012.
 - 13) Cutter, S., Mitchell, J., 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.
 - 14) 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., 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.
 - 15) White, G., Haas, E. : *Assessment of Research on Natural Hazards*, 3rd ed. The MIT Press, Cambridge. 1975.
 - 16) Burton, I., Kates, R., White, G. : *The Environment As Hazard*, 2nd ed. The Guilford Press, New York. 1993.
 - 17) 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.
 - 18) UNDRRO (Office of United Nations Disaster Relief Coordinator) : *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, UNDRRO, Geneva. 1979.
 - 19) Ambraseys, N., 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.
 - 20) 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.
 - 21) Fussler, H.M., Klein, R. : Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change*, Vol.75, No.3, pp. 301-329, 2006.
 - 22) Hewitt, K. : The idea of calamity in a technocratic age. In : Hewitt, K. (Ed.), *Interpretations of Calamity*. Unwin Hyman, Boston. pp. 3-32, 1983.
 - 23) Bankoff, G. : Rendering the world unsafe: 'vulnerability' as western discourse.. *Disasters*, Vol.25, No.1, pp. 19-35, 2001.
 - 24) Susman, P., O'Keefe, P., Wisner, B. : Global disasters, a radical interpretation. In: Hewitt, K. (Ed.), *Interpretations of Calamity*. Unwin Hyman, Boston. pp. 263-282. 1983.
 - 25) O'Keefe, P., Westgate, K., Wisner, B. : Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, Vol.260, pp. 566-567, 1976.
 - 26) Morrow, B. : Identifying and Mapping Community Vulnerability. *Disasters*, Vol.23, No.1, pp. 1-18, 1999.
 - 27) Wisner, B., Luce, H. R. : Disaster Vulnerability: Scale, Power and Daily Life. *GeoJournal*, Vol.20, No.2, pp. 127-140, 1993.
 - 28) Adger, N. : Vulnerability. *Global Environmental Change*, Vol.16, pp. 268-281, 2006.
 - 29) Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. : *At Risk*, 2nd ed., Routledge, New York. 2004.
 - 30) Pelling, M. : *The Vulnerability of Cities*, 1st ed. Earthscan, London. 2003.
 - 31) Cutter, S. L. : Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, Vol.20, No.4, pp. 529-539, 1996.
 - 32) Ainnuddin, S., Routray, J. : Earthquake hazards and community resilience in Baluchistan. *Natural Hazards*, Vol.63, No.2, pp. 909-937, 2012.
 - 33) Holling, C. S. : Resilience and Stability of Ecological System. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, Vol.4, pp. 1-23, 1973.
 - 34) Janssen, M., Schoon, M., Ke, W., 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.
 - 35) 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.
 - 36) Gunderson, L. : Ecological Resilience-In Theory and Application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.31, pp. 425-439, 2000.
 - 37) 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.
 - 38) Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C., Walker, B. : Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, Vol.413, pp. 591-596, 2001.
 - 39) Scheffer, M., Carpenter, S. : Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, Vol.18, No.12, pp. 648-656, 2003.
 - 40) Folke, C. : Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, Vol.16, No.3, pp. 253-267, 2006.
 - 41) Carpenter, S., Walker, B., Anderies, M. J., Abel, N. : From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?. *Ecosystems*, Vol.4, pp. 765-781, 2001.
 - 42) Walker, B., Holling, C., Carpenter, S., 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)
 - 43) Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, T., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W., 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.
 - 44) Godschalk, D. : Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, Vol.4, No.3, pp. 136-143, 2003.
 - 45) De Bruijn, K. M. : Resilience and flood risk management. *Water Policy*, Vol.6, pp. 53-66, 2004a.
 - 46) De Bruijn, K. M., Green, C., Johnson, C., 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.

- 47) Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., Webb, J. : A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, Vol.18, pp. 598-606, 2008.
- 48) Mens, M., Klijn, F., de Bruijn, K. M., van Beek, E. : The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, Vol.14, pp. 1121-1131, 2011.
- 49) Mens, M., Klijn, F., 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.
- 50) 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, 2004b.
- 51) Burby, R., Deyle, R., Godschalk, D. : Creating Hazard Resilient Communities Through Land-use Planning. *Natural Hazards Review*, Vol.1, No.2, pp. 99-106, 2000.
- 52) 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.
- 53) Longstaff, P., Armstrong, N. J., Perrin, K., Parker, W. M., Hidek, M. A. : Building Resilient Communities A Preliminary Framework for Assessment. *Homeland Security Affairs*, Vol.6, No.3, pp. 1-23, 2010.
- 54) Buckle, P., Mars, G., Smale, R. : New approaches to assessing vulnerability and resilience. *Australian Journal of Emergency Management*, Vol.15, No.2, pp. 8-15, 2000.
- 55) Geis, D. : By Design: the Disaster Resistant and Quality-of-Life Community. *Natural Hazards Review*, Vol.1, No.3, pp. 151-160, 2000.
- 56) McEntire, D., Fuller, C., Johnston, C., 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.
- 57) Rose, A., 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.
- 58) Toubin, M., Serre, D., Diab, Y., Laganier, R. : An auto-diagnosis tool to improve urban resilience: The RATP case study. In: Serre, D., Barroca, B., Laganier, R. (Ed.), *Resilience and Urban Risk Management*. Taylor & Francis Group, London. pp. 143-150. 2013.
- 59) Kato, T., Bhattacharya, Y., Sugata, H., Otagiri, R. : The Six Principles of Recovery: A Guideline for Preparing for Future Disaster Recoveries. *Journal of Disaster Research*, Vol.8, Special Edition, 2013.
- 60) Zhou, H., Wang, J., Wan, J., Huicong, J. : Resilience to natural hazards: a geographic perspective, *Natural Hazards*, Vol.53, pp. 21-41, 2010.

(?)