# 脆弱性, レジリエンス, 適応力の概念についてのレビュー Review on the Concepts of Vulnerability, Resilience, and Adaptability

〇塩崎 由人<sup>1</sup>,加藤 孝明<sup>2</sup> Yuto SHIOZAKI<sup>1</sup> and Takaaki Kato<sup>2</sup>

1東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

Department of Urban Engineering, the University of Tokyo

<sup>2</sup> 東京大学 生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

The concepts of resilience, vulnerability, and adaptation are increasingly used in the fields of global climate change, natural disasters and other environmental studies. However, each of the concepts has different definitions. This paper reviews the definitions of vulnerability, resilience, and adaptability, and shows that the concepts can be categorized based on some attributes. First, most vulnerability concepts involve exposure, sensitivity, and adaptability. Second, the concept of resilience is classified into engineering resilience, ecological resilience, and social resilience. Regime shift is also an important concept in ecological resilience. Third, the concept of adaptation/adaptability is classified into the context of the target to be operated, the degree of system modification, as well as the timing and duration.

Keywords : vulnerability, resilience, adaptability/adaptation

# 1. はじめに

近年,気候変動や自然災害等の環境変化に関して, 「脆弱性」,「レジリエンス」,「適応力」という用語 が頻繁に使われている。これらの用語は,英語圏の自然 災害(Natural Hazard),生態システム(Ecosystem),地 球環境変化(Global Environmental Change)に関する学術 分野において発達してきた"vulnerability", "resilience", "adaptability"の概念から導入されたものであると考えら れる。これらの概念は,何らかの環境変化に対するシス テム<sup>1</sup>の変化や挙動を説明するものであり,生態システム,社会システム(Social System)<sup>2</sup>,社会生態システム (Socio-ecological System)<sup>3</sup>に適応されてきた。学際的・ 包括的な枠組みを形成する概念となり得る一方,その定 義は多様であり,統一的な定義が存在するわけではない ため,定義が曖昧なまま使用されると混乱を招く恐れが ある。

本論では、このような不要な混乱を避ける一助とすべ く、英語圏の自然災害、生態システム、地球環境変化の 分野における「脆弱性(vulnerability)」、「レジリエン ス(resilience)」、「適応力(adaptability)」の概念の 発達の経緯とその多様な定義について整理する。

## 2. 環境変化とハザード

先述したように、レジリエンス, 脆弱性は, 環境変化に 対するシステムの変化を説明する概念であるため, まず 環境変化について整理する必要がある。

Turner ら(2003)によると、環境変化には突発的な変 化と慢性的な変化がある。突発的な変化とは、システム の通常の変動性を超えて短期間のうちに生じる変化であ り、高潮、台風、地震などがある。また、慢性的な変化 とは、システムの通常の変動性の中で継続的に徐々に高 まっていく変化であり、海面上昇、土壌劣化、砂漠化な どがある。この突発的な変化や慢性的な変化と、その結 果としてシステムにもたらされる脅威がハザード (Hazard)である<sup>4</sup>。

### 3. 脆弱性 (vulnerability)

#### (1) 経緯

脆弱性はラテン語の"vulnerare"に由来し「傷つきやす さ」という意味がある(Dow, 1992)。脆弱性の概念が システムに関して用いられるのは自然災害の分野に端を 発しており,社会システムと自然環境との関係に着目し た概念であると言える。1990年代から自然災害の研究者 たちは環境の変化,とりわけ気候変動に対する人間社会 の脆弱性に着目するようになった。レジリエンスと比較 すると脆弱性に関する研究では数理的モデルに着目した 研究は少ないが,事例に関する比較分析が多い(Janssen, 2006)。

#### (2) 定義

脆弱性には、様々な定義が存在するが、Dow (1992) は 2 つの定義があるとしている。1 つ目の定義は、災害 等、環境変化への「曝露(exposure)」を脆弱性とみな すものであり、2 つ目の定義は環境変化に対する「対処 能力(coping ability)」の有無やその程度によって脆弱 性を測ろうとするものである。

脆弱性を環境変化への曝露とみなす考え方では、災害 が発生した場合に想定される人的被害やインフラストラ クチャーや建物,資産への物的被害の大きさを脆弱性と みなしている。

一方, 脆弱性を環境変化に対する対処能力とみなす考え 方では, 環境変化への曝露は所与のものとみなし, シス テムを構成する要素やその状態によって, 被害の大きさ に差が生じることに着目している。被害の大きさに差が 生じる理由として, システムが, (1) 環境変化を吸収し, その機能を維持する能力と(2) 環境変化による被害から 回復する能力(回復力)を有していることがあげられて いる。システムが有するこの 2 つの能力について, Dow (1992) は前者を「レジスタンス (resistance)」とし, 後者を「レジリエンス (resilience)」と定義している。 脆弱性の定義には,上記の 2 つの定義を併せたものも存 在する。この定義では,環境変化による脅威に曝されて いる地理的な領域に,環境変化への対処能力が低い社会 システムが構築されている状態が最も「脆弱 (vulnerable)」であると考える (Cutter, 1996)。社会 システムの状態とその地理的立地に着目した考え方であ ると言える。

また,Adger (2006) によると,脆弱性の概念は,(1) 曝露 (exposure),(2) 感応性 (sensitivity),(3) 適 応力 (adaptive capacity) という 3 つの要素によって表さ れることが多いとされる。(1) 曝露は「システムが被る 環境変化の質と量」<sup>5</sup>,(2) 感応性は「システムが環境 変化によって変質あるいは影響される程度」,(3) 適応 力は「システムが環境変化に適応し,変化に対処する容 量を拡大するために進化する能力」<sup>6</sup>である。

Gallopín (2006) は、曝露はシステムとそれを取り巻く 環境の関係により決まるものであり、システム自体の特 質ではないと考え、システムの脆弱性は感応性と対処能 力 (capacity of response) によって決定されるとしている。 Gallopín (2006) による対処能力とは、「環境変化に適応 し、潜在的な被害を軽減し、環境変化を好機として活用 し、システムの変質の結果に対処する能力」<sup>7</sup>である。

# 4. レジリエンス (resilience)

# (1) 経緯

レジリエンスは、元来は材料工学(material science)の 分野で、「原点へと戻る、跳ね返る」という意味として 使われていた(De Bruijn ほか、2007)。Holling(1973) は、環境変化に対する生態システムの特質を表す概念と して、レジリエンスを導入した。当初、レジリエンスは 集団生態学(population ecology)の分野や生態システム の管理の研究において用いられ、数理モデル指向の概念 であった。1980年代後半からは人間社会と自然環境の相 互作用に着目した社会生態システムの分野でも用いられ ている。(Janssen, 2006)。現在では、人間社会やコミ ュニティに重点を置き、社会システム(social system)の みにレジリエンスの概念を適用する研究も見られる (Wilson, 2011)。

#### (WIISOII, 201

(2) 定義

Holling (1973, 1999) は,生態システムの特質として, 「工学的レジリエンス (engineering resilience)」と生態 学的レジリエンス (ecological resilience)」という2つの レジリエンスの概念を提示している<sup>8</sup>。まず,これらの 概念が前提としている,環境変化に対するシステムの変 化の挙動について説明する。平衡状態 (equilibrium) に あるシステムを想定すると,環境変化に対してシステム は次の4つの変化のうちいずれかの挙動を示すとされる (De Bruijn, 2004)。

- (1) システムは全く影響を受けず変化しない。
- (2) システムは変化するがすぐに平衡状態へと戻る。
- (3) システムが変化し、別の特質を有する安定状態へと 変質してしまう。
- (4) システムは常に揺れ動き、不安定な状態となる。

システムが環境変化を吸収してしまい、全く変化を見

せないのが(1)である。(2)ではシステムは環境変化 により一時的に影響を受けるものの再び平衡状態へと到 る。システムは動的に変化するものとすると,従前と全 く同じ状態に回帰することはないが,(2)ではシステム の主要な性質が維持される範囲内(「安定領域(stable domain)」<sup>9</sup>)で変化し平衡状態へと到るものと考えられ る。(3),(4)は、システムが環境変化によってその 主要な性質を維持できなくなるほど変化してしまう場合 である。(3)では、その変化の結果として、システムは 従前とは異なる性質を有する状態へと変質することにな る。(4)は、システムはいかなる安定領域にも落ち着か ず、変化し続ける場合である。

工学的レジリエンスは、上記の(2)の状態、つまり平 衡状態の近傍にある状態において重要となる特質であり、 「一時的な環境変化の後、システムが平衡状態へと戻る 能力」<sup>10</sup>と定義されている。また、工学的レジリエンス は、平衡状態に戻る速度によって測定される。

一方,生態学的レジリエンスは「システムがその説明変 数の変化を吸収し,持続し続ける能力」<sup>11</sup>,つまり,シ ステムが環境変化を受けた際,その主要な性質を維持す る能力である。生態学的レジリエンスは,システムが別 の安定状態に変質するまでに許容することができる環境 変化の大きさによって測定される。

あるシステムが環境変化の影響を受けて、現状の安定 領域を越えて変化し、別の性質を有する状態へと変質し てしまう現象は「レジーム・シフト(regime shift)」と 呼ばれている(Scheffer & Carpenter, 2003)。一度レジ ーム・シフトが生じると、従前の安定領域に戻ることは 困難であると考えられており、システムを望ましい安定 領域に管理する上で、レジーム・シフトが生じる状況、 プロセスの把握が重要となる。生態システムにおけるレ ジーム・シフトの例としては、透明度の高い湖沼におい て、栄養度が上昇していくとある閾値を境にして藻類が 急激に増殖し、濁った状態となってしまう現象があげら れる(Scheffer ほか, 2001)。

Holling (1973) の提唱した生態学的レジリエンスの概 念は、社会生態システム、社会システムの分野にも適用 され,その後,概念が拡張されている。社会生態システ ムの分野では、レジリエンスについて、(1)システムが 構造や機能を維持可能なまま許容できる変化の総量, (2) システムが自己組織化する能力, (3) システムが学習・ 適応能力,などの定義が存在する(Cumming, 2005)<sup>12</sup>。 社会システムの分野では、Adger (2000) が人間社会や コミュニティの有するレジリエンスに着目し、これを 「社会的レジリエンス (social resilience)」と呼び,「社 会的,政治的,環境的な変化の結果として生じた外的な ストレスや変化に対処する集団、コミュニティの能力」 <sup>13</sup>と定義している。また、Cutterら(2008)は、「レジリ エンス」を「災害に対応し、回復する社会システムの能 力であり,災害の影響を吸収し,対処する固有の性質や, ある脅威に応じて再編成し,変化し,学習する社会シス テムの能力を高める適応プロセスを含むもの」<sup>14</sup>である としている。

## 5. 適応力 (adaptability)

## (1) 経緯

Smit と Wandel (2006) によると、「適応 (adaptation)」という用語は進化生物学(evolutionary biology)に端を発する。進化生物学における「適応」の 定義は「生命体やシステムが生存・繁殖するために,環 境変化への対応を可能とする遺伝的あるいは行動的な特 徴の発達」とされている。「適応」という用語は,人間 社会に関する分野では文化人類学で用いられており,環 境変化に迅速に対処することができる文化あるいは社会 が「適応力(adaptability/capacity to adapt)」を有してい るとされている(Smit & Wandel, 2006)。1990年代以降, 気候変動に関する研究にも「適応」という用語が使われ るようになった。上述の,「レジリエンス」,「脆弱性」 の概念においても「適応」あるいは「適応力」が要素と して含まれている場合がある。

## (2) 定義

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) は、 「適応 (adaptation)」を「生態システム、社会システム、 あるいは経済システムが現実の、あるいは予想される気 候の変化やその影響に対応した順応」と定義している。 この「適応」の概念には、潜在的な被害を緩和・軽減す る、あるいは気候の変化を好機として活用するためのプ ロセス・行動・構造の変化が含まれている。「適応力 (adaptability/adaptive capacity)」は、「適応」に関する

システムの能力であるとされている(McCarthy et al, 2001)。

"adaptability"には同義語や関連語があり、"adaptive capacity", "coping capacity/capacity to cope", "response capacity/capacity to response"などがある。 "adaptation"にも関連する用語があり、"mitigation", "adjustment"がある。これらの関連語は、 "adaptation", "adaptability"と同じ定義でもちられる 場合もあれば、明確に異なる定義を与えられる場合もあ る。異なる定義が与えられる場合、これらの用語は、操 作の対象、システムの改変の程度、タイミング・期間の 観点に基づき、分類することができる。

操作の対象の観点では, IPCC は, "adaptation"と "mitigation"を明確に区別して定義している。 "adaptation"を「システム自体を操作する行為」とする 一方, "mitigation"は「環境変化の原因を操作する行為 (例えば,温室効果ガスの排出削減)」としている (Gallopín, 2006)。

システムの改変程度の観点では、"adjustment"と "adaptation"は区別されて定義されている。 "adjustment"は、システム自体を抜本的には変化させない環境変化への対応であり、一般に短期的で、比較的小 規模なシステムの改変であるとされている。一方、

"adaptation"は、システム自体を抜本的に変化させてし まう環境変化への対応であり、システムを新たな状態へ と変化させてしまう改変であるとされている(Gallopín, 2006)。Walker ら(2004)による"adaptability",

"transformability"の定義もこの観点に関連していると考 えられる。"adaptability"はシステムの性質を維持しつ つ、システムの感応性(sensitivity)や生態学的レジリエ ンス(ecological resilience)を管理するシステムの能力で あるとされている。また、"transformability"は、生態学 的、経済的、社会的な状態によって、既存のシステムが 受け入れがたい状態となった時に新たなシステムを根本 的に想像する能力であるとされている。

適応力のタイミング・期間の観点では、"coping capacity"を危機を切り抜ける短期的な能力とし、
"adaptive capacity"をより持続可能な適応を行う長期的な能力とする定義がある(Smit & Wandel, 2006)。
Gallopín (2006)によると、社会生態システムの適応力の

定義は、(1)不測の環境変化に対処する能力(環境変化に 直面した際にシステムの状態を維持する,あるいは改善 する能力)、(2)システムが適応することができる環境変 化の領域を広げる能力,の2つに大別できるとされる。

# 6. まとめ

本論文では, 脆弱性, レジリエンス, 適応力には統一 的な定義があるわけではなく様々な定義が存在すること を示した。また, 各概念に関する要素についても説明し た。これらの要素は, 環境変化に対するシステムの変化 や挙動, 対応の特徴を表現したものである。今後, これ らの概念を都市システムへと適用し, 自然災害などの環 境変化に備えた対策の枠組みを構築するためには, ①各 概念とその要素間の関係性を明らかにすること, ②都市 システムにおいて各概念の要素に影響を与える変数と影 響を与えるメカニズムを明らかにすることが求められる。

### 補注

1 複数の要素が相互に関係しあい,全体としてまとまった機能 を発揮している要素の集合体(a group of related parts that work together as a whole for a particular purpose) (Longman Dictionary of Contemporary English 5th)。

2人間の関わるシステムで、家計、地域コミュニティ、都市、 国など、様々な規模のシステムを指すものとする。

3 社会システムと生態システム(あるいは自然環境)の相互作 用を有するシステム。

4 Hazards are defined as threats to a system, compromised of perturbations and stress (and stressors), and the consequences they produce. A perturbation is a major spike in pressure (e.g. a tidal wave or hurricane) beyond the normal range of variability in which the system operates. Perturbations commonly originate beyond the system or location in question. Stress is a continuous or slowly increasing pressure (e.g. soil degradation), commonly within the range of normal variability. Stress often originates and stressors (the source of stress) often reside within the system (Turner  $(\Xi \hbar)^3$ , 2003).

5 the nature and degree to which a system experiences environmental or socio-political stress (Adger, 2006)

6 the ability of a system to evolve in order to accommodate environmental hazards or policy change and to expand the range of variability with which it can cope (Adger, 2006)

7 In general, capacity of response is the system's ability to adjust to a disturbance, moderate potential damage, take advantage of opportunities, and cope with the consequences of a transformation that occurs (Gallopín, 2006).

8 Holling (1973) は,当初,上述の「工学的レジリエンス」を "stability",「生態学的レジリエンス」を"resilience"とも定義し ていた。

9 システムの現状の主要な性質を維持することのできる変化の 範囲を「安定領域」とする。

10 Stability is the ability of a system to return to an equilibrium state after a temporary disturbance (Holling, 1973)

11 Resilience ... is a measure of the ability of these systems to absorb change of state variable, driving variables, and parameters, and still persist (Holling, 1973).

12 Resilience has been defined as (1) the amount of change that a system can undergo while still maintaining the same controls on structure and function; (2) the system's ability to self-organize; and (3) the degree to which the system is capable of learning and adaptation (Cumming  $i\Xi\hbar^3$ , 2005).

13 the ability of group or communities to cope with external stresses

and disturbances as a result of social, political and environmental change (Adger, 2000)

14 Resilience is the ability of a social system to respond and recover from disasters and includes those inherent conditions that allow the system to absorb impacts and cope with an event, as well as post-event, adaptive processes that facilitate the ability of the social system to reorganize, change, and learn in response to a threat (Cutter  $\{\pm, i\}$ , 2008).

15 adjustment in ecological, social, or economic systems in response to actual or expected climatic stimuli and their effects or impacts.

## 参考文献

1) Adger, N., 2000. Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in Human Geography*, 24[3], pp. 347-364.

2) Adger, N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 第 16 巻, pp. 268-281.

3) Cumming, G. S. ほか, 2005. An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience. *Ecosystems*, 第 8 巻, pp. 975-987.

4) Cutter, S. ほか, 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 第 18 巻, pp. 598-606.

5) Cutter, S. L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20[4], pp. 529-539.

6) de Bruijn, K. M., 2004. Resilience and flood risk management. *Water Policy*, 第6巻, pp. 53-66.

7) de Bruijn, K. M., Green, C., Johnson, C. McFadden, L., 2007. Evoloving Concepts in Flood Risk Management: Searching for a Common Language. 著:: S. Begum, M. J. Stive J. W. Hall, 共同編集者 *Flood Risk Management in Europe*. Dordrecht: Springer, pp. 61-75.

8) Dow, K., 1992. Exploring Differences in Our Common Future(s): the Meaning of Vulnerability to Global Environmental Change. *Geoforum*, 23[3], pp. 417-436.

9) Gallopín, G., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 第 16 巻, pp. 293-303.

10) Holling, C. S., 1973. Resilience and Stability of Ecological System. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 第 4 巻, pp. 1-23.

11) Holling, C. S., 1996. Engineering Resilience versus Ecological Resilience. 著:: P. C. Schulze, 編 *Engineering Within Ecological Constraints*. Washington DC: The National Academy of Sciences, pp. 31-43.

12) Janssen, M., Schoon, M., Ke, W. Börner, K., 2006. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 第 16 巻, pp. 240-252.

13) Longman, P., 2009. Longman Dictionary of Contemporary English.5 編 Harlow: Longman ESL.

14) McCarthy, J. J. et al. (Eds.), 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

15) Scheffer, M. ほか, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 第 413 巻, pp. 591-596.

16) Scheffer, M. Carpenter, S. R., 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18[12], pp. 648-656.

17) Smit, B., Wandel, J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 16[3], pp. 282-292.

18) Turner II, B. L.  $(\pm \hbar)$ , 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100[14], pp. 8074-8079.

19) Walker, B. et al., 2004. Resilience, adaptability and transformabilit

y in social-ecological systems. Ecology and Society, 9[2], art. 5 [online], URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/

20) Wilson, G., 2011. Community Resilience and Environmental Transitions. 1 編 New York: Routledge.