

災害廃棄物処理における レジリエンス評価の考え方

小橋 昭文¹・北詰 恵一²

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 環境都市工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: k258582@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: kitazume@kansai-u.ac.jp

南海トラフ巨大地震をはじめとする今後の大規模自然災害に対し、「強くてしなやか」な国土強靱化施策が進められており、迅速な災害廃棄物処理も論点の一つとなっている。しかしながら、地域連携や関連産業の協力などを踏まえたがれき処理の具体的な対策は未だ確立しておらず、人口減少によりがれき処理における対応力が低下するような社会リスクも考えられるため、既存の枠組みを超えた対策が必要となる。そこで、本研究では災害対策分野において浸透しつつあるレジリエンスの概念を整理することで、災害廃棄物分野に的を絞ったレジリエンス概念の構築を試みた。また、その結果をもとに、今後の災害廃棄物処理分野におけるレジリエンス評価の展望を示す。

Key Words : *resilient, disaster waste management, Nankai megathrust earthquakes, depopulation*

1. 背景

災害廃棄物の処理が遅れると、円滑な復旧・復興の妨げとなり、周辺地域に悪影響を及ぼす恐れがあるため、災害廃棄物の迅速な処理が求められている。東日本大震災の教訓からも、地域連携での処理や関連産業等を含めた地域一体としての処理が必要であるとされているが、それらの具体的な対策にまでは至っていない。また、今後の人口減少は、都市機能の低下や産業の衰退等の地域の処理能力に影響を与える可能性があり、長期的な震災対策を考える上で人口減少が引き起こす「社会的リスク」も考慮しなければならない。このように、今後も検討が必要となる円滑な災害廃棄物処理は、内閣官房が進めている「国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）」における論点の一つとして重要視されている。

「国土強靱化」をはじめ、今後の自然災害対策分野において注目されているのが「強くてしなやか」として意味づけられているレジリエンス（resilience）の概念である。レジリエンスは、生態学や心理学においても使用されていた用語であり、多様な分野において発展してきた概念であることから定義が一意でなく複雑化しているのが現状である。また、自然災害対策分野一つにしても捉えるべき範囲が広い比較抽象的であり、その内部に含まれる論点一つ一つについてのレジリエンス概念が整理されつつある。それに伴い、災害廃棄物処理の観点からレジリエンスについて整理されることも重要だが、その例はごくわずかである。

そこで本研究では、今後の社会リスクを踏まえ、既存の枠組みを超えた災害廃棄物処理の観点から、レジリエンス評価へ向けた検討を行う。そのためにまず、災害廃棄物処理対策における現状と、今後考慮すべき問題点を示す。また、社会リスクを踏まえた上で、既存研究を用いた自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念を整理する。次に、自然災害対策分野の中でも災害廃棄物処理に特化した上でのレジリエンス概念の提案を行う。そして、今後の災害廃棄物処理におけるレジリエンス評価における展望を示す。

2. 災害廃棄物処理が直面する課題

災害廃棄物処理におけるレジリエンス概念の整理に先立ち、災害廃棄物処理計画の現状や方針といった既存の枠組とともに、今後の人口減少によって処理に影響をもたらす社会リスクについて述べる。

(1) 災害廃棄物処理計画について

現在策定されている災害廃棄物処理計画（地震・津波災害）の多くは、東日本大震災の経験を踏まえたものになっている。その内容としては、制度的に3年以内の処理を目標とし、想定した災害廃棄物量をもとに、仮置場、運搬ルート、最終処分先等を事前に検討することで実効性の高い計画策定を目指すものである²⁾。環境省が推進する災害廃棄物対策指針を基に、都道府県、市町村の災害廃棄物処理計画がトップダウンで策定されているため、詳細な地域特

性を踏まえた内容にまでは至っているものは少ない。また、地方環境事務所が中心となって全国 8 箇所に設置された地域ブロックでは、地域において廃棄物の処理に関わり得る自治体や事業者等に広く参画を呼びかけ、広域連携処理についての検討を進めている。地域ブロックでは、連携処理に向けて「大規模災害発生時における災害廃棄物対策行動計画」の策定が進められているが、先進的に進められている地域であっても骨子案であり、今後も検討が必要な状態である。

(2) 今後求められる施策

東日本大震災の経験を踏まえた災害廃棄物処理対策が進められている一方で、今後発生するとされている南海トラフ巨大地震による被害は、広域的でありかつ前例のない数億トン単位の災害廃棄物の発生が考えられる。その際の対策は、これまでの規模感での考え方とは異なることを視野に入れておかなければならない。そのためにも既存の計画内容の枠を超えて考慮すべき課題が存在する。以下ではそれら課題について、問題点を踏まえた上で述べる。

(a) 地域間連携処理

東日本大震災等において、独自での処理が不可能であった自治体が行なったのが地域間連携での処理である。この連携処理は石巻市を中心とした生活圏としての周辺市町村間の連携だけでなく、東京都と女川町のように広域連携処理も含まれる。広域に被害が及ぶ南海トラフ巨大地震では、処理の主体となる行政機関や事業者、専門家等が”オールジャパン”での対応によって処理に当たることが重要であるように、都道府県・市町村間の連携がより一層必要になる。しかしながら、現状の地域連携に関わる検討においては、他の県・市町村との協定の締結は確認できるものの、内容の具体化が望まれるものが多い。実効的な連携体制の構築にあたっては、各自治体における支援・受援体制の構築も必要になる。平常時の処理能力が低い可能性がある小規模自治体における受援体制の構築や、処理能力が比較的高い地域における廃棄物の受け入れ基準の設定、都市市街地での仮置場不足を補うための事前協定など、具体的な項目に対しても目を向ける必要がある。

(b) 廃棄物処理関連産業との連携

災害廃棄物処理においては、行政の対応だけでなく、各地域に存在する産業の役割も大きい。まず、建設業は道路啓開業務等の緊急対応の他、被災した構造物の解体やがれきの中間処理などあらゆる側面での災害対応を担う産業である。また、セメント工業をはじめとする製造業は、大量に発生したがれきを再資源化してリサイクルに繋げる可能性がある。これらの関連産業との連携においては、各自治体における産業の特性を把握することと共に、各産業における具体的な役割を明確にした上で行政・産業間での事前協定や、各産業の組合・協会などの組織としての対応策を講じる必要がある。

(c) 自区内処理の推進

国や県（支援側）の視点からすると、南海トラフ巨大地震のような広域にわたる被害を考えた場合、被災地域全域に適切かつ平等な支援が行き届かないことは明らかである。そのため、可能な限り各市町村で災害廃棄物処理を完結させる必要がある。不可能な場合はその上位に当たる行政組織内で処理を完結させるといった、市町村>（処理ブロック）>都道府県>地域ブロック>国の順での優先順位を意識することが必要である。そのためにも、がれき量や処理能力の推計値とは別に、地域特性（自治体規模・地形・産業等）の把握をし、自治体独自で災害廃棄物処理に向き合う姿勢が必要である。それに加え、周辺自治体を含めた生活圏や県内の状況を把握することで、各自治体が取り組むべき対策を明確化する必要がある。

(3) 社会リスクによる影響

南海トラフ巨大地震は今後 30 年間の発生率が 70%とされているなか、災害に備えた災害廃棄物処理対策が進められている。しかし、30 年という時間の長さは、人口減少下にある日本の都市構造や産業構造を変化させる可能性がある。災害廃棄物処理計画等を策定済みの自治体であっても数十年後の災害であれば、推計されたがれき量を元にした対策のみでは人口減少による社会的影響が含まれず、実効的で適切な対応が行えない可能性がある。また、南海トラフ巨大地震の被害が想定される太平洋沿岸の市町村では、都市部への集中がより一層進むことが考えられるため、地方部と都心部との都市機能格差が広がることも考えられる。このことから、現状のだけでなく将来も見据えた上で、長期的・広域的視点を持った災害廃棄物処理対策を展開することが必要である。

3. 自然災害対策分野でのレジリエンス概念

上記の実情や課題を踏まえると、災害廃棄物処理における地域のレジリエンス評価が必要である。そのためにも、災害廃棄物処理に関するレジリエンス概念の提案に先駆け、自然災害分野におけるレジリエンス概念を整理する。本研究では、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整理した塩崎らの論文³⁾を主に活用した。本章ではそれらの整理された概念的枠組みをもとに、人口減少によって引き起こされる社会リスクを見据えた上で、今後の自然災害対策分野において必要となるレジリエンスの概念を提案する。

(1) レジリエンスの概念の領域

自然災害対策分野におけるレジリエンスの概念には、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の 2 つに分類した上で整理されている。特に後者は、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枠組み（システム・アプローチ）であり、今後の社会リ

スクにも対応し得る概念枠組みであると考える。

システムにおけるレジリエンスの概念としては Holling によって導入された生態システムの分野での概念から社会生態システムへと発展を遂げている。(表.1) なかでも、社会生態システムにおけるレジリエンスでは、システムが外力を受けた後、元の平衡状態にとど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能力(適応的再構築能力)が含まれた概念となっている。これは、今後の人口減少が著しい日本において、都市構造の変化を見据えた長期的な復旧・復興による新しいまちづくりを考える上でも重要な概念であり、本研究を進めるにあたって必要な概念領域である。

表 1：生態・社会生態システムのレジリエンス概念

システム	レジリエンスの概念
生態	工学的：外力を受けた後、システムが有する唯一の平衡状態に戻る事。
	生態学的：外力を受けることにより、別の平衡状態に遷移すること。
社会生態	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。

(2) レジリエンスの対象となるシステム

今後の災害対策分野におけるレジリエンスの検討には、構造物の強化・耐震化等のハード面での対策のみでは不十分である。上に示したレジリエンス概念の領域においても都市、コミュニティを踏まえた都市機能全般をシステムとみなすシステム・アプローチを用いている。都市をシステムとみなした場合、都市は、物理システム、社会・経済システム、制度・組織システムという3つのサブシステムからなるシステムとされる(表 2)。これらのサブシステムを項目ごとに把握することで、各市町村における特性を把握することができると考える。だが、これらの都市を構成するシステムは、個々に存在するのではなく、構成要素が互いに影響しあうことにより形成されることに注意しなければならない。

表 2 都市システムの構成要素

都市システム	例
物理システム	地形・水文・土壌 建物・道路・上下水道・電気
社会・経済システム	人口属性・企業属性・社会ネットワーク
制度・組織システム	土地利用計画・都市計画制度 行政組織・公共、公益団体

(3) 自然災害対策におけるレジリエンス概念

塩崎らによれば、自然災害対策分野におけるレジリエンス概念が2種類に分類できるとされている。ここでは、その二つの概念の特徴を述べた後に本研究におけるレジリエンスの概念を述べる。

(a) システムの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いる。システムの安定性とは、システムがハザードに曝された時に、その機能を可能な限り保持する能力(頑健性)、機能が損なわれた場合においても迅速に被災前の水準まで回復する能力(回復力)からなるとされている。

(b) 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

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以前とは異なる状態へと変化することを許容している。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システムに求める機能によって決定される。

(c) 本研究におけるレジリエンスの概念

今後日本での社会リスクを考慮した上での復旧・復興は、被災地の将来を十分に考慮した上で検討すべきである。今後も変化するであろう都市と向き合って新たな都市の状態を模索するという点では、塩崎らが提案した(b)適応的再構築能力としてのレジリエンスの概念を災害対策での共通認識とすべきである。しかし地域によっては、被災前の状態を望ましい状態とする(a)安定性としてのレジリエンス概念が重要である可能性もある。東北地方における復興計画等で示された市街地等の復興パターン分析⁴⁾では、多くの地域が新しいまちづくりとして移転等の方向性である一方で、現地復興や現地集約などの被災前の状態を少なからず維持する地域も見られる。このことから、被害状況などが復興の方向性に影響を与えることを考慮すると、(a)安定性としてのレジリエンス概念は(b)適応的再構築能力に包含する形で、望ましい状態の候補として被災前の都市システムが存在すると考えるべきである。

4. 災害廃棄物処理におけるレジリエンス概念

(1) 災害廃棄物処理レジリエンスの位置づけ

本章では、自然災害対策分野におけるレジリエンス概念を元に、災害廃棄物処理を考える上での概念を提案する。災害発生後には、都市システムの状態は様々な側面による影響を受けて低下し、その要因の一つが災害廃棄物である。よって、災害廃棄物処理におけるレジリエンス概念は、災害対策におけるレジリエンス概念と包含関係にある。

図 1 は、安定性としてのレジリエンス概念を表したものであり、縦軸は「都市システムの状態」を、横軸は「時間」を表す。災害の影響により低下する都市システムの状態を可能な限り保持する力が「頑健性」である。また、低下した都市システムの状態を迅速に望ましい状態に戻す能力を「回復力」としており、回復するまでにかかる時間で計測される。

一方で図 2 は、災害廃棄物処理におけるレジリエ

ンスの概念図であり、縦軸を「都市システムの状態に対する負荷」、横軸を「時間」で表す。災害によって発生するがれきの負荷を可能な限り低減する力が「頑健性」、発生がれきを処理して都市システムに対する負荷を解消する力が「回復力」としている。災害廃棄物による負荷の発生を抑制する「頑健性」は、都市システムの状態の低下を抑制する力の一部でもあり、災害廃棄物による負荷を解消する「回復力」は、都市システムの状態を改善するための力の一つでもある。

上記の包含関係を踏まえた上で、都市システムの状態に対する負荷である災害廃棄物を抑止・処理することをレジリエンスとしている。

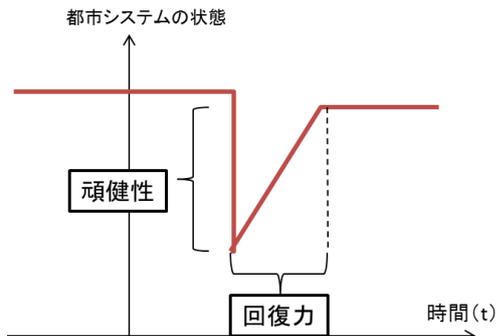


図 1：安定性としてのレジリエンスの概念

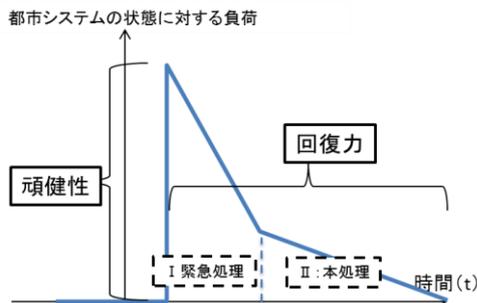


図 2：災害廃棄物処理のレジリエンス概念図

(2) 災害廃棄物処理レジリエンスの構成要素

災害廃棄物処理のレジリエンス概念における回復力は、I：緊急処理、II：本処理という異なったフェーズによって表される。I：緊急処理は、都市生活空間における災害廃棄物処理を表し、日常生活や交通、産業等の都市生活の機能を改善及び確保するため、生活空間からのがれきの撤去や移動（例：被災地域→一次仮置場、一次仮置場【市街地施設】→二次仮置場）等を示す。また、II：本処理は、低利用空間における災害廃棄物処理を表し、生活圏外の一次仮置場及び二次仮置場における、運搬・集積された災害廃棄物の中間処理及び最終処分などの長期的な処理を要する産業を表す。図 3 は二種類の処理において必要とする力の違いを示す。II：緊急処理は、迅速な処理が求められるため、即応性（発生がれきに対して直ちに対応する力）及び順応力（がれきが都市に与える被害に応じて処理する力）が必要となる。また、II：本処理は、大量に発生したがれ

きを、あらゆる組織と連携を取り、高度な技術および新たな政策等を交えて着実に処理をすることが求められるため、順応力および柔軟な遂行力（抜本的に新しいシステム・仕組みを創る力）が必要となる。また、がれきの発生を抑制する「頑健性」は回復力の要素全てに関係する能力となっている。災害廃棄物処理におけるレジリエンスを検討する際には、頑健性と回復力、回復力に含まれる各処理段階で必要とされる能力、という構成を踏まえて評価枠組みを構築することにより、地域のレジリエンス向上へ向けた課題が明確になるであろう。

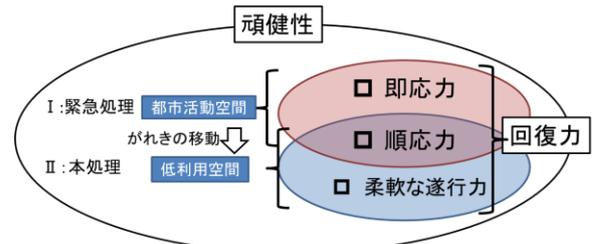


図 3：災害廃棄物処理レジリエンスの構成要素

5. 災害廃棄物処理におけるレジリエンス評価へ向けて

本研究では、既存研究における災害対策分野におけるレジリエンス概念を参考に、災害廃棄物処理分野におけるレジリエンス概念の構築を試みた。また災害廃棄物処理におけるレジリエンスの構成要素を示すことにより、レジリエンスを評価する際に考慮すべき視点を提案した。これにより、今後のレジリエンス評価に向けては、本研究で提案した概念やレジリエンスの構成要素を基に、頑健性、回復力（即応力・順応力・柔軟な遂行能力）に関する地域評価体制の構築が課題である。その際、都市システム（物理、社会・経済、制度・組織）と災害廃棄物処理の関係性をより明確にすることで具体的な評価指標が必要となる。

謝辞：本研究は、平成28年度環境研究総合推進費（3K-153008、研究代表者：北詰恵一）の助成を得て行った研究の一部である。ここに記して、謝意を表したい。

参考文献

- 1) 内閣官房国土強靱化推進室. 国土強靱化とは？～強く、しなやかなニッポンへ～.2014
- 2) 眞鍋 和俊, 佐々木 知子, 岩下 信一. 巨大地震発生に備える災害廃棄物処理計画の策定手法と適応事例. 応用地質技術年報=0yo technical report (33), 75-85, 2014
- 3) 塩崎由人, 加藤孝明, 菅田寛. 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. 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol7, No.3, 127-140.2015
- 4) 国土交通省都市局. 津波被災市街地復興手法検討調査 2014,4