

地域住民のQoLにもとづく 市町村のレジリエンス評価

森田 格¹・師 自海²・中野 雅章³

¹ 正会員 日本工営株式会社 先端研究開発センター (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

E-mail: morita-it@n-koei.jp

² 非会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

E-mail: zihaiishi@yahoo.co.jp

³ 正会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

E-mail: nakano-ms@n-koei.jp

我が国は、近年大規模な自然災害に見舞われ、将来も南海トラフ巨大地震等が想定されており、自然災害への対策は急務である。市町村では、総合計画等において自然災害対策が掲げられており、この実現に向けてはPDCAを着実に実行していく必要がある。この際、都市のレジリエンスを定量的に評価することができれば、計画策定、事業評価等へ活用でき、計画の将来像実現に向けて有益な情報提供が可能と考える。本研究では、被災者のQoLによる地域のレジリエンスの定量評価を市町村レベルに適用し、東日本大震災前後で土地利用が大きく変わった陸前高田市において、洪水・土砂災害を対象にGIS分析によるレジリエンス評価を行った。これにより、陸前高田市の洪水・土砂災害に対する予防力・回復力等のレジリエンスを定量的に把握することができた。

Key Words : *resilience, quality of life, city evaluation, natural disasters*

1. はじめに

国連は、1994年3月に第1回国連防災国際会議を横浜市で開催し、国家レベルから地域レベルまでの防災の取組を国際規模で推進することで合意された。2005年1月の兵庫での第2回会議では、「Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters」が掲げられ、国家・コミュニティにおいて災害レジリエンスを構築する兵庫枠組が採択された。その後、2015年3月の仙台での第3回会議では、「災害リスクの理解」「災害リスク・ガバナンス強化」「強靱性（レジリエンス）のための災害リスク削減への投資」「より良い復興（ビルド・バック・ベター）」の4つの優先行動と、7つの具体目標を定めた仙台防災枠組2015-2030が採択された。

日本では、強くてもしなやかな国を作るため、国土強靱化（ナショナル・レジリエンス）、防災・減災の取組が進められ、2013年12月に国土強靱化政策大綱（内閣官房）が決定、その後、国土強靱化基本計画（2014.6）、国土強靱化アクションプラン（2014～2018）等が作成されている。

都市レベルのレジリエンスの取組としては、ロックフェラー財団が、都市がよりレジリエントとなるために社

会的・経済的・物的な課題に対して支援を行う「100 Resilient Cities」を制定し、2016年に富山市・京都市を含む世界100都市が選定された。

また、近年注目されている国連のSDGs（2015.9採択）でも、「11.住み続けられるまちづくりを」において、資源効率、気候変動、災害等に対するレジリエンスを目指す総合的政策及び計画を導入・実施した都市及び人間居住地を大幅に増加させ、仙台防災枠組2015-2030に沿って、あらゆるレベルでの総合的な災害リスク管理の策定と実施を行うこととしている。

日本の土木学会は、American Society of Civil Engineersとインフラレジリエンスに関する国際シンポジウムを開催し、インフラレジリエンスにおいて、主要なコミュニティの経済活動や生活水準等に関するアセスメント・ガバナンス・マネジメントの枠組みを提示している。

このように、災害レジリエンスは国家レベルから都市・地域レベルでの取組に関わっており、様々なレベルの組織において重要な考え方となっている。

一方、自治体では、市町村の将来像を描いた総合計画や都市計画マスタープランにおいて、地域の活性化、環境への配慮、健康等に関するまちづくりが掲げられており、災害に強いまちづくりも多くの自治体で取り上げら

れている。

これらの将来像を実現していくには、市町村の課題把握、適切な目標設定、効果的な施策の実施や進捗の確認等を着実に実行していく必要がある。この際、市町村のレジリエンスを定量的に評価することができれば、防災に関する計画策定、意思決定支援、事業評価等への活用が可能となり、計画の将来像実現に向けて有益な情報提供が可能と考えられる。

しかし、市町村レジリエンス等の防災に関する評価は、2章で詳述するように、避難場所の充足度に関する指標といった部分的な評価にとどまっており、どこにどのような施策をうてば、どの程度災害に強いまちづくりができていくのか分かりづらい。

そこで、本研究では、被災者のQoLによる地域のレジリエンスの定量評価を市町村レベルに適用し、市町村のレジリエンスを定量的に評価することを目的とする。

2. 既存の都市レジリエンス評価

(1) レジリエンスに関する都市評価の指標

一般的に都市の評価を行う場合、様々な機関から公表されている指標を参考として、レーダーチャート等で当該都市の計画・施策前後の比較を行ったり、モデル都市と比較を行う。この際、どの程度まちづくりが進められているかは、あくまで自都市や他都市との相対比較として評価される。各機関等から公表されている指標のうち、防災に関するものを表-1に示す。

SDGsやISO37120では、災害による死者数や経済損失といった防災効果に関する指標と、防災戦略有無や消防士の数といった防災機能に関する指標で構成されている。一方、都市構造評価のハンドブック、CASBEE-都市、City Resilience Index、ASEAN Urban Resilience Checklistでは防災効果に関する指標はなく、防災機能に関する指標で構成されている。また、SDGs、ISO37120、都市構造評価のハンドブック、CASBEE-都市では、防災に関する機能

面の指標はそれぞれで異なり、部分的な評価にとどまっている。一方、City Resilience IndexやASEAN Urban Resilience Checklistは防災機能に関する指標が網羅的に構成されている。両者の概要について以下に記載する。

City Resilience Indexは、ロックフェラー財団の「100 Resilient Cities」において活用されている指標で、健康・福祉、経済・社会、インフラ・環境、リーダーシップ・戦略の4つの側面から評価され、ここから段階的に12の目標、52の要素、169の数値指標で構成されている。各数値指標にはベストケースとワーストケースのシナリオが例示されており、ベストケースの5点からワーストケースの1点まで5段階のスコアで評価される。

ASEAN Urban Resilience Checklistは、ASEAN Ministerial Meeting on Disaster Management (AMMDM)のコンセプトノート18に則って、JICAの「ASEANでの災害レジリエントシティ構築プロジェクト(2018.9)」で作成されたチェックリストである。「災害リスクマネジメント」と「レジリエントな都市開発」の2つのチェックリストがあり、仙台防災枠組2015-2030のフレームに即して、災害リスクの理解、レジリエントであるためのリスク調査、ビルド・バック・ベターとなる事前防災の強化、ガバナンスの強化の4側面から評価され、150~200の質問に4段階程度のスコアで回答して都市のレジリエンスを把握する。そして、スコアの低い項目に対して優先度をつけ、優先度毎に取り組むべき項目を把握できるようになっている。

このように、レジリエンスに関する都市評価の指標には、防災機能を網羅的に把握できる指標群も提示されているが、各指標は5段階程度のスコアで評価され、あくまで自都市や他都市との相対比較として評価されるものであり、防災機能を強化することで災害死者数や経済損失がどの程度減って、どの程度災害に強いまちづくりができていくのかは分かりづらい。

(2) 既往論文等による都市レジリエンスの評価

ここでは、既往の研究における、都市レジリエンスの評価方法について概観する。

表-1 都市評価を行う際の防災に関する指標

評価名等	防災に関する効果面の指標	防災に関する機能面の指標
SDGs ¹⁾	災害死者数、経済損失	防災戦略有無
ISO37120 ²⁾	災害・火事での死者数	消防士の数
都市構造評価のハンドブック ³⁾	—	災害危険エリアの居住割合、最寄り緊急避難場所までの平均距離
CASBEE-都市 ⁴⁾	—	救急医療施設の充実度
City Resilience Index ⁵⁾	—	健康・福祉、経済・社会、インフラ、ガバナンス等に関する指標群
ASEAN Urban Resilience Checklist ⁶⁾	—	リスク認知、災害リスク低減、災害準備、リスク統治に関する指標群

馬場ら⁷⁾は、「resilience」をキーワードとして Impact Factor の高い論文を収集するとともに、自治体の政策担当者へのインタビュー、内閣官房や環境省の政策担当者が参加したワークショップを通じて、レジリエントシティの概念、レジリエントシティ評価指標の整理を行っている。評価指標は、国勢調査や住宅・土地統計調査等に関する都市指標、市民の防災意識等に関する市民指標、防災施策有無等に関する行政指標を設定している。行政指標については、リスク認知に関するものが41指標、脆弱性評価が28指標、回避すべき想定事態に関するものが24指標、レジリエント施策の実施・準備状況に関するものが43指標となっている。そして、これらの指標を用いてレジリエンスを診断し、庁内ワークショップや市民会議等を通じて、レジリエントシティ政策モデルを実装化する枠組みを提案している。なお、この論文ではアンケート調査による行政指標の試行的評価にとどまっており、都市指標、市民指標を含むレジリエンスの診断には至っていない。

塩崎ら⁸⁾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ている。そして、都市のレジリエンス管理の枠組みを検討する場合、以下の点が求められるとしている。

- ・都市を複数のシステムから成るシステム (System of Systems) として枠組みを検討すること
- ・「適応的再構築機能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

適応的再構築機能能力は、都市システムの望ましい状態を被災前の状態に限定せず、社会・経済的環境の変化に適応しながら再構築することとしている。都市システムの状態の望ましさを評価するための指標については、一つの考え方として人々のQoLを指標とすることが挙げられている。

林⁹⁾は、阪神・淡路大震災の復興プロセスをふまえて、都市再建・経済再建・生活再建の3つを目標とする総合的な復興モデルを提示している。この中で、災害レジリエンスは予防力と回復力で表現されている。予防力はハザード・暴露量・脆弱性によって決まる被害を防ぐ力、回復力は人間活動と時間(経験)によって復旧を早める力としている。なお、本論文でも都市再建等における災害レジリエンスの概念提示にとどまっており、レジリエンスの定量的評価には至っていない。

一方、上田ら¹⁰⁾は、都市の震災後の人口挙動について、構造分野において一般に用いられる質点系モデルのアナロジーに基づき分析を行うとともに、レジリエンスの特性について考察を行っている。これによると、神戸市内の各区を対象とした市街地の人口回復力には、大都市からの距離等の地理的要因、産業等の構造上の要因が影響

することが定量的に示された。これらは都市のレジリエンスを評価するうえでの視点の一部ではあるが、災害に強いまちづくりを進める際には参考情報にとどまると考えられる。

川久保ら¹¹⁾は、都市のレジリエンスを測るための指標群(都市レジリエンス性評価指標)を開発し、その適用可能性の検証を行うことを目的として、日本の大都市のレジリエンスの評価を実施している。都市レジリエンス性評価指標は、データの収集容易性、データの信頼性、指標の代表性、地域普遍性、政策適用性等の基準を全て満たす指標とし、最終的に18個の指標を都市レジリエンス性評価指標として選定している。そして、東京都区部および政令指定都市に関する公開統計情報を用いて主成分分析を実施し、各都市の予防力、順応力、転換力を評価するための統合評価指標を開発し、これを用いて日本の大都市のレジリエンス性評価を実施した。但し、統合評価指標も都市間の相対評価にとどまっている。

以上のように、既往研究での都市レジリエンス評価においても、都市レジリエンスの概念整理や指標による相対比較にとどまっており、どこにどのような施策をうてば、どの程度災害に強いまちづくりができていのか把握するに至っていない。

3. 都市レジリエンスの絶対量での評価

既往文献の整理結果から、都市のレジリエンスを部分的もしくは相対比較ではなく、どの程度災害に強いまちづくりができていのかという都市全体を絶対量で評価する具体的な方法はまだ確立されていない。そこで、都市レジリエンスを絶対量で評価する方向性を、既往文献をふまえ以下のように整理した。

- ・現状では指標群を用いた相対比較にとどまっているため、都市の望ましい状態を絶対量で評価する方法が必要となる。
- ・都市の望ましい状態を評価する指標としては、人口・経済・環境等の切り口があるが、人々のQoLを指標とすることが一つ考えられる。
- ・また、都市システムはインフラ等の複数システムの集合体と考えられるため、System of Systemsとして評価フレームを構築する必要がある。
- ・都市のレジリエンスは、予防力・回復力(順応力)・再構築機能能力(転換力)の複合的効果であるため、これらを評価可能な手法が必要である。

都市・市町村という枠組みから外れて、これらを見た場合、参考となる文献をふまえて、本研究での都市レジリエンスの評価手法について以下に記載する。

(1) 下水道分野におけるレジリエンス評価

Shiら¹²⁾は、下水道の再構築において構造レジリエンスの手法を構築し、下水道ネットワーク等の構造レジリエンス評価を相対指標ではなく絶対量として評価している。レジリエンスに関する変数は以下のように定義している。

S(q) : 社会工学的システム (例: 下水道システム)

q : システムのキーとなる変数 (例: 流下量)

V : システムの周辺環境 (社会性・経済性・環境性)

D : 攪乱 (例: 地震外力等)

そして、レジリエントなシステムをエネルギーの式として以下のように定義している。

$$Ev = Ed - Es(1) + Es(2) \quad (1)$$

Ev : システム周辺環境に放出される正味エネルギー

Ed : 攪乱によって引き起こされる破壊エネルギー

Es(1) : システムによって吸収されるエネルギー

Es(2) : 攪乱時もしくは後にシステムから周辺環境に放出されるエネルギー

レジリエントなシステムは、どのような変化・攪乱が発生してもそのシステムは破壊エネルギーEdを完全に吸収でき、しかも二次災害は発生させない(システム周辺環境Vに与える破壊エネルギーはゼロ)となる。これを式で表すと以下ようになる。

$$Ed = Es(1) \quad (2a)$$

$$Es(2)=0 \quad (2b)$$

$$\text{よって, } Ev = 0 \quad (2c)$$

レジリエントなシステムの構造レジリエンス評価をグラフで表すと図-1のようになる。発災時 (td) にはシステム機能は低下するものの徐々に復旧が進み、復旧完了時 (texp) 時にはシステム機能が発災前の状態に戻る。

また、破壊エネルギーEdとシステムによって吸収されるエネルギーEs(1)を用いて以下のようにレジリエンス・インデックスrを定義したとする。

$$r = Es(1)/Ed \quad (3a)$$

この場合、破壊エネルギーEdとEs(1)が等しければ、システムが被害を受けることなく、レジリエントなシステムであると言える。これはシステム機能面から定義する

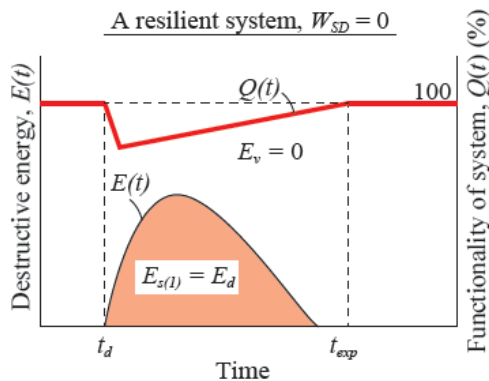


図-1 構造レジリエンスの概念的グラフ (レジリエント時)¹²⁾

と以下のようになり、災害後のシステム有効機能値が通常運用時のシステム設計機能値と等しければ、システムが機能的な被害を受けることなく、システムのエネルギー面と同様にレジリエントなシステムであると言える。

$$r = Q_{esf}/Q_{dsf} \quad (3b)$$

Q_{dsf} : 通常時のシステムにおける設計機能値 (例: 下水道システムの流下能力設計値)

Q_{esf} : 災害後のシステムにおいて機能している有効機能値 (例: 下水道システムの流下能力有効値)

なお、システムの機能の低下、復旧活動による機能の回復のプロセスをレジリエンス三角形と定義し、システムのレジリエンスを評価する。

(2) 被災者 QoLの地域レジリエンス評価

猪原ら¹³⁾は、災害によって死亡・負傷していない住民を対象に、発災以降の生存・生活環境変化の動向をふまえて、被災者のQoL (生活の質: Quality of Life) の低下量を用いて (図-2), 地域のレジリエンスを定量評価する手法を構築し、静岡県を対象に南海トラフ地震に適用して、地震および津波ハザードに対して検討している。

被災者のニーズは復旧レベルによって異なっており、図-3に示すようにステージ毎にQoL構成要素を設定し、ステージの全ての要素を満たすと次ステージへ移行するとしている。なお、QoLはステージ毎に設定しており、ステージ1が0.4、ステージ2が0.6、ステージ3が0.8、ステージ4が1.0としており、レジリエンスの絶対量評価に準じた指標となっている。

時系列で変化する被災者ニーズに対して、各時点のQoL構成要素を、人口分布やインフラの復旧状況等との

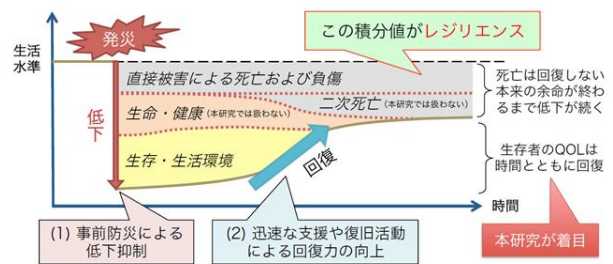


図-2 大規模災害発生後のQoL変化とレジリエンス¹³⁾



図-3 災害時のQoL構成要素の時系列変化と概念¹³⁾

関係からGIS解析でニーズの充足状況を判定し、どのQoLステージにあるかを特定している。そして、災害が発生しなかった場合のQoLと災害が発生した場合のQoLの差の時間積分値によって評価を行っている。

(3) 本研究での都市レジリエンス評価

都市レジリエンスを絶対量で評価する方針について、前節までの既往文献のレビューをふまえて記載する。

- ・Shiらではエネルギーに着目したレジリエンスの評価を提示しており、これはシステムの機能割合を指標とするレジリエンス三角形として、絶対量によるレジリエンス評価を可能としている。
- ・猪原らは、県レベルを対象に被災者QoLの地域レジリエンス評価を行っており、これは都市の望ましい状態を評価する指標として活用可能である。
- ・また、猪原らは、様々なインフラ等の復旧状況をふまえたQoLを算出しており、都市を対象とした場合でも、システムの機能割合に基づいたSystem of Systemsとして都市システムの評価フレームを構築することが可能である。
- ・そして、Shiら、猪原らの手法では、予防力・回復力を考慮したレジリエンス評価が可能であり、QoLを用いることで再構築機能力も含めた複合的効果としてのレジリエンス評価が可能と思われる。

従って、本研究では、猪原らの手法に準じた方法で検討を行うこととし、以下に彼らの手法と異なる部分を説明しつつ評価手法を記載する。

a) 都市システムと QoL 構成要素

猪原らの手法では、周辺環境と被災者ニーズの変化に対応した災害時QoL構造をステージ1~4として設定しているが、これを重層的な都市システム群として見ると、表-2のように捉えることが可能である。都市システム1は主に避難所や備蓄物資等によって機能がまかなわれるシステムで、都市システム2、3と移行していくにつれ、ライフラインや公共施設等によって機能がまかなわれる

システムとなる。また、都市システム4では、ライフラインや公共施設等でまかなわれる機能だけでなく、様々な文化的な価値等を保有するシステムと考えられる。都市システム群をエネルギーの式として定義すると式(4a)のようになる。

$$Ev = Ed - \sum_i Es(i) + Es(5) \quad (4a)$$

Ev：都市システム周辺に放出される正味エネルギー

Ed：攪乱によって引き起こされる破壊エネルギー

Es(i)：都市システムで吸収されるエネルギー (i=1-4)

Es(5)：攪乱時もしくは後に都市システムから周辺環境に放出されるエネルギー

これをふまえてレジリエンス・インデックスrを定義すると、式(4b)のようになる。そして、都市システム機能面から定義すると式(4c)のようになる。

$$r = \sum_i Es(i) / Ed \quad (4b)$$

$$r = \sum_i (Q_{esf}(i) / Q_{dsf}(i)) \quad (4c)$$

Q_{dsf}(i)：通常時の各都市システムにおける設計機能値 (i=1-4)

Q_{esf}(i)：災害後の各都市システムにおいて機能している有効機能値 (i=1-4)

さらに、QoLと人口でレジリエンス・インデックスを定義すると以下のようにになる。

$$r = \sum_i (QoL(i) \times P(i)) / Pt \quad (4d)$$

QoL(i)：各都市システムのQoL (i=1-4)

P(i)：各都市システムに該当する人口 (i=1-4)

Pt：総人口

b) ハザードおよび人口分布等について

本検討では洪水および土砂災害を対象とするが、これらによる人的被害は発生しないと仮定した。但し、浸水深が大きいもしくは土砂到達範囲に含まれる建物は居住不可とみなし、これの居住者は収容人数の割合に応じて避難所へ移るとし、発災後の人口分布はこれを考慮した。

c) QoL 構成要素の充足判定について

猪原らの手法では、小地区単位 (4分の1地域メッシュ単位、約250m 四方) で、各QoL構成要素が「その場で

表-2 都市システム群の概要と QoL 構成要素

都市システム群	QoL 構成要素	システム概要
都市システム 1 : Es(1)	ステージ 1 : 救急医療, 薬, 飲料水, 食料 (量), 寝るところ, 寒さ・暑さ, 介護	QoL 構成要素を提供する施設等が被災した場合, 避難所や備蓄物資等によって機能がまかなわれるシステム
都市システム 2 : Es(2)	ステージ 2 : 医療, 食料 (質), 入浴, トイレ, 衣類, 空気環境, 温熱環境, プライバシー	ライフラインや公共施設等によってまかなえる機能と, 避難所等でもまかなえる機能が混在するシステム
都市システム 3 : Es(3)	ステージ 3 : 教育, 就業, 買物, 住宅	ライフラインや公共施設等によって機能がまかなわれるシステム
都市システム 4 : Es(4)	ステージ 4 : 機会獲得性, 居住快適性, 安全安心性	上記以外にも様々な施設・設備等によって機能がまかなわれるシステム (本検討外)

表-3 QoL構成要素の充足判定

QoL構成要素		充足判定の概要	
ステージ1	救急医療	(人的被害が発生しないと仮定したので未評価)	
	薬	徒歩圏の薬局 or 避難所 or 公共交通有無	公共交通復旧有無
	飲料水	徒歩圏の上水道施設 or 避難所 or 公共交通有無	水道 or 公共交通復旧有無
	食料(量)	徒歩圏の商業施設 or 避難所 or 公共交通有無	公共交通復旧有無
	寝るところ	(住宅か避難所にいると仮定し未評価)	
	寒さ・暑さ	徒歩圏のガソリンスタンド or 避難所 or 公共交通有無	電気 or ガス or 公共交通復旧有無
	介護	(本検討では未評価)	
ステージ2	医療	徒歩圏の医療施設 or 避難所 or 公共交通有無	公共交通復旧有無
	食料(質)	徒歩圏の商業施設 or 公共交通有無	電気・ガス・水道復旧有無
	入浴	徒歩圏の入浴施設 or 避難所 or 公共交通有無	電気・ガス・水道復旧有無 or 公共交通復旧有無
	トイレ	徒歩圏の避難所有無	水道復旧有無
	衣類	徒歩圏のコインランドリー or 避難所 or 公共交通有無	電気・水道復旧有無
	空気環境	(住宅か避難所にいて問題ないと仮定し未評価)	
	温熱環境	—	電気復旧有無
	プライバシー	(住宅か避難所にいて問題ないと仮定し未評価)	
ステージ3	教育	徒歩圏の公共交通有無	小中学校・公共交通復旧有無
	就業	徒歩圏の公共交通有無	公共交通 or 道路復旧有無
	買物	徒歩圏の商業施設 or 公共交通有無	公共交通 or 道路復旧有無
	住宅	居住不可と判定された建物は復旧せず仮設住宅も無いと仮定した	

※避難所については緊急輸送路から避難所が通行可の場合機能「有」とした

※公共交通については復旧していれば沿線のどこかで関連する QoL 構成要素を満たすと仮定した

充足可能」もしくは「移動(公共交通や道路等の接続性)により充足」の可否判定を行っている。本検討では、後者については同様の検討を行っているが、前者については、人口を100mメッシュに配分し、各メッシュの1km圏(徒歩圏を想定)の施設等の有無を判定した。また、本検討では備蓄無しとして評価した。各QoL構成要素の充足判定の概要を表-3に示す。

4. ケーススタディ

ここでは、前節の手法を用いて、都市レジリエンスの評価を行う。対象地域は、東日本大震災で土地利用が大きく変わった陸前高田市とし、土地利用を変更した現状(対策後)と土地利用変更前となる震災前(対策前)で、洪水・土砂災害に対して、どれだけ陸前高田市のレジリエンスが変化したか、発災後30日間の地域住民のQoLにより定量評価を行う。

(1) 陸前高田市の概要

陸前高田市は、面積約232km²で、山林が約70%を占め、宅地は約3%となっている。人口は約1.9万人で、昭和30年代から人口減少が続いており、現在の人口構造は少子

高齢化の様相を呈している。

過去には、東日本大震災による津波など、大規模な地震・津波災害をはじめとして、高潮・波浪による災害、大雨・台風等による災害、大火災等が発生しており、将来的にも、地震災害、津波災害、風水害、土砂災害等の発生が想定されている。

本検討で対象とするハザードである洪水の浸水想定区域と土砂災害危険箇所および人口分布を図-4に示す。陸前高田市は、東日本大震災後、土地利用が大きく変化し、低地部から住民が移転している。このため、洪水の浸水想定区域に住宅はほとんど無い。一方、土砂災害の危険箇所は住宅や道路に接近しているところが多数ある。

(2) 使用データ

ケーススタディに使用するデータは公表データを用いた(表-4)。ハザードや公共交通、避難所等は国土数値情報、人口は国勢調査、建物・道路は基盤地図情報の最新のものを使用した。また、民間施設等については、iタウンページで検索された情報に基づいて店舗位置等を把握した。ライフラインについては、電気・水道・ガス・通信は面的一様に与え、住宅や避難所、民間施設等には全て平常時供給されていると仮定した。

各種施設等の被害・復旧の考え方を表-5に示す。建物

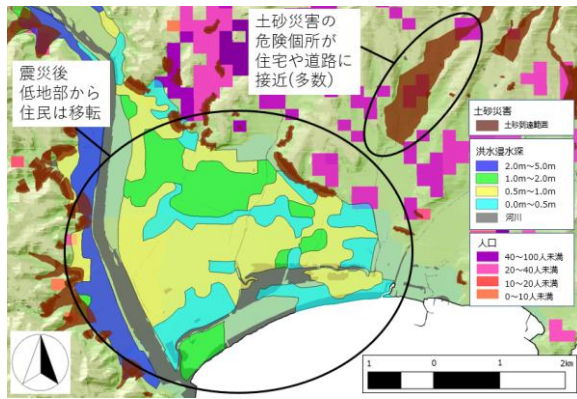


図-4 陸前高田市中心部の洪水・土砂災害と人口分布

は浸水深1.5m以上もしくは土砂到達範囲にふくまれる場合に居住不可とし、今回の評価期間30日間で復旧せず、仮設住宅も建設されないと仮定した。道路については、緊急輸送路から優先的に啓開される。地すべりや法面崩壊等の規模の大きい土砂災害の場合、復旧に1ヵ月以上かかる場合もあるが、本検討ではこれらを想定せず、小規模な土砂災害を想定した。ライフラインや民間施設等については、水害指標手引や常総市水害実績を参考に被害判定や復旧期間を設定した。

(3) 現状の評価結果

評価のタイミングは、発災直後、3日後、1週間後、30日後とし、それぞれの復旧状況をふまえて各都市システムを統合して評価されるレジリエンス・インデックスを算出した。

まず、発災直後から30日後までのQoLのメッシュ割合を図-5に示す。発災直後のQoLメッシュ割合はステージ2 (QoL値: 0.6) が8割程度を占め、ステージ1 (QoL値: 0.4) が2割程度となっている。3日後も同様の傾向であるが、1週間後には電気・ガス・通信が復旧しステージ2がほとんどを占める状況となっている。そして30日後には平常時となるステージ4 (QoL値: 1.0) が6割を占め、ほぼステージ3と4が占める結果となる。

そして、各都市システムを統合して評価するレジリエンス・インデックスr (メッシュ内に居住する人口にメッシュのQoLを乗じて総人口で割った一人あたりの平均QoL) を図-6に示す。発災直後から3日後までレジリエンス・インデックスは0.59となっており、1週間後には0.62、30日後には0.98となっている。各都市システムでみると、都市システム1のレジリエンス・インデッ

表-4 使用データの概要

項目	データ引用元	
ハザード	洪水, 土砂災害	国土数値情報 ¹⁴⁾ : 浸水想定区域 (H24), 土砂災害危険箇所 (H29), 土砂災害警戒区域 (H29)
社会	人口	国勢調査 ¹⁵⁾ : 小地域 (H27)
	建物, 道路	基盤地図情報 ¹⁶⁾ : 建物・道路 (H28)
施設	公共交通, 避難所等	国土数値情報 ¹⁴⁾ : バス停留所 (H22), 鉄道 (H29), 避難所 (H29), 医療施設 (H26), 小中学校 (H29)
	民間施設等	iタウンページ ¹⁷⁾ : 薬局, 商業施設, ガソリンスタンド, 入浴施設, コインランドリー (H29時点)
	ライフライン	電気・水道・ガス・通信について居住場所等には有ると仮定

表-5 各種施設等の被害・復旧の考え方

項目	被害・復旧の考え方	
建物	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深 1.5m 以上, 土砂到達範囲に含まれる住宅を居住不可 住宅は復旧せず, 仮設住宅も建設しないと仮定 	
道路	<ul style="list-style-type: none"> 土砂到達範囲に含まれる道路を通行不可 緊急輸送路は 1 日, 一般道は 7 日で復旧と仮定 	
バス	<ul style="list-style-type: none"> 道路と同様, 7 日で復旧と仮定 	
ライフライン	電気	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深 70cm 以上で被害, 1 週間で復旧
	ガス	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深 70cm 以上で被害, 6 日間で復旧
	水道	<ul style="list-style-type: none"> 常総市の水害実績より 11 日間で復旧と仮定
	通信	<ul style="list-style-type: none"> 1 ヶ月で通信施設被害から復旧と仮定
民間施設等	<ul style="list-style-type: none"> 床上浸水となる 45cm 以上, 土砂到達範囲に含まれる場合は被害有り 水害指標手引の医療施設を参考に 2 週間で復旧と仮定 	

※建物被害は被害認定基準運用指針改定案¹⁸⁾で浸水深 1.8m 以上で全壊であり国土数値情報の区分を勘案して設定

※ライフラインの復旧は水害指標手引¹⁹⁾や常総市水害実績²⁰⁾を参考に設定

クスは1割程度減少し、1週間後にはほぼ回復している。都市システム2と3は1週間後まで機能不全の状況であるが、30日後には都市システム2はほぼ回復、都市システム3も8割程度回復している。

市の中心部におけるQoLの分布図を図-7に示す。発災直後から3日後までは土砂災害等で道路が寸断された箇所ステージ1（赤メッシュ）が点在しているが、一般道が復旧する1週間以降は、これらが概ね回復している。また、水道は約2週間で復旧することとしており、このことによって30日後には市域の多くでステージ4（青色メッシュ）に回復している。

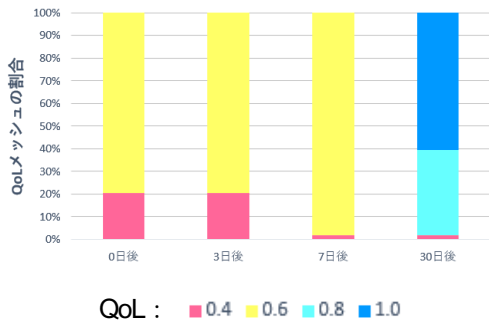


図-5 市域全体の可住地での QoL メッシュ割合の時間変化

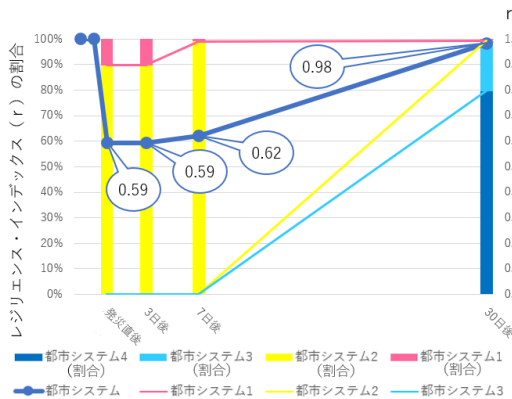


図-6 市域全体のレジリエンス・インデックス r と各都市システムの占める割合の時間変化

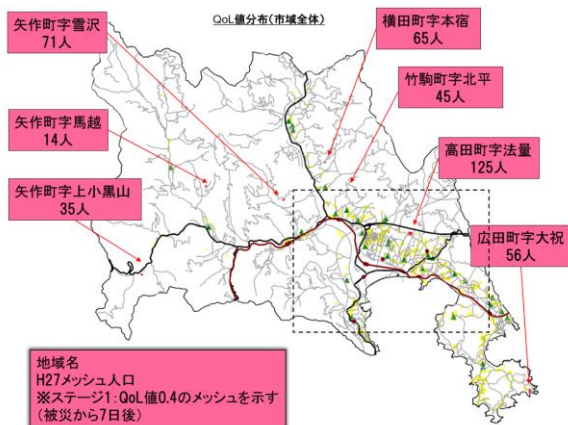


図-8 市域全体のステージ1の分布状況 (1週間後)

市全域で発災1週間後でもステージ1（赤メッシュ）となっている地域を図-8に示す。山間部を中心に復旧の遅い地域が点在しており、これらの地域では徒歩圏に各種機能が存在しないためQoLが低くいままである。道路復旧後には、必要に応じて車等で移動して各種サービスを受けている状況と思われるが、本検討では自動車による移動は考慮されていない状況である。

(4) 対策前（震災前）と対策後（現状）の比較

ここでは、土地利用が大きく変更となる前（対策前）である東日本大震災前の人口分布・土地利用等を用いて、

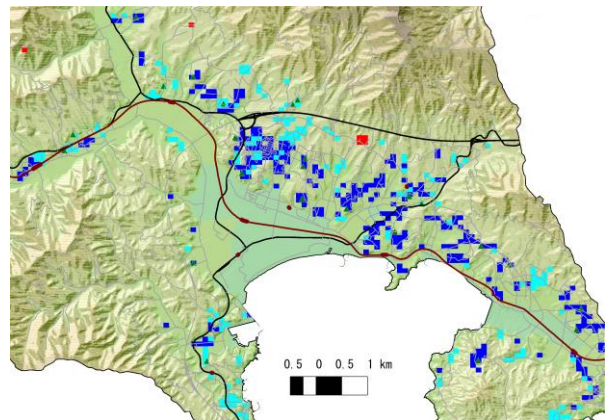
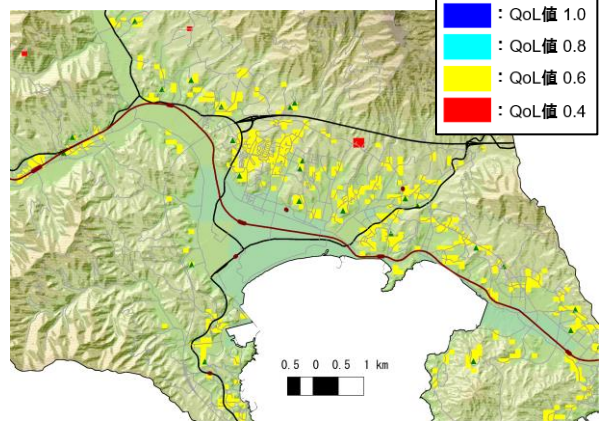
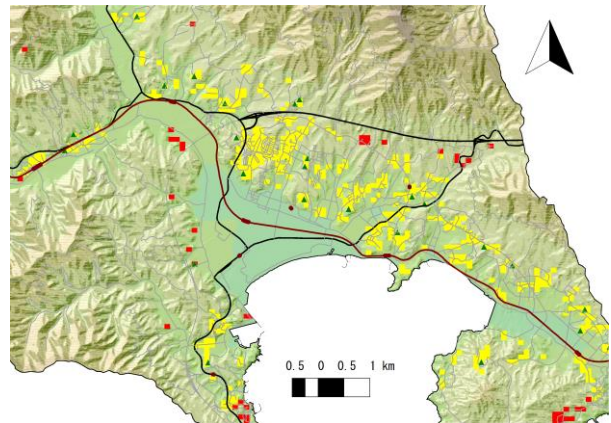


図-7 陸前高田市中心部の QoL 分布 (上：発災直後，中：1週間後，下：30日後)

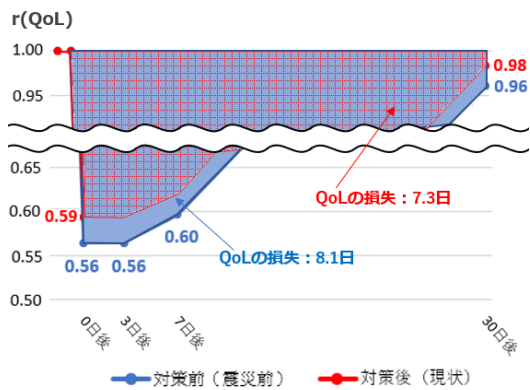


図-9 市域全体の住民 QoLの時間変化の震災前後の比較

前節と同様の評価を行い、陸前高田市のレジリエンスの比較を行う。

公表データでは入手が制限されてしまうため、以下のデータのみ極力震災前に近いものに変更し、他のデータは表-3に示したものをそのまま使用した。

- ・国勢調査：小地域 (H22)
- ・基盤地図情報：建物・道路 (H24)
- ・国土数値情報：鉄道 (H20)，避難所 (H22)，医療施設 (H22)，小中学校 (H22)

レジリエンス・インデックス r について、対策前（震災前）と対策後（現状）を比較したグラフを図-9に示す。発災直後のレジリエンス・インデックスは対策前で0.56、対策後で0.59であり、レジリエンス・インデックスが3%程度向上したため予防力が向上したことが分かる。30日後は対策前で0.96、対策後で0.98であり、レジリエンス・インデックスが2%程度の向上にとどまったため、回復力はほとんど変わらない。

時間軸を考慮したレジリエンス三角形の面積で比較すると、震災前では30日間で1人あたり8.1日分のQoLの損失であったのが、現状では7.3日分に減少している。これは一人当たりの平均値であるため、市の人口19万人を乗じて、市全体のQoL損失を見てみると、対策前では約15.4万日分だったのが、対策後では約13.9万日分となり、約1.5万日分減少している。

5. 主要な結論

本検討では被災者のQoLを用いて、洪水・土砂災害を対象として陸前高田市のレジリエンス評価を行い、都市レジリエンスの定量的な把握を行った。その結果以下の知見・課題が得られた。

- ・災害対策（土地利用の大きな変更）前後でのレジリエンス評価が可能であり、都市の状態を表す指標としてQoLは有用であることが分かった。
- ・被災者QoLは、地震・津波だけでなく、洪水・土砂

災害を対象にした場合でもレジリエンスの定量把握に有用であった。今後は、洪水・土砂災害以外の災害に対しても都市を対象としてレジリエンス評価を行っていききたい。

- ・災害対策として土地利用を大きく変えた場合の予防力、回復力についても、本検討のレジリエンスの定量評価で把握することが可能であった。今後は、復興後までを対象として再構築機能力についても評価したい。
- ・本検討では、ライフライン等の分布・復旧が一律で設定している。各種インフラの詳細な分布・復旧データや、維持管理計画等をふまえた評価を行うことで、より実態に即したQoLの評価が可能と考える。
- ・また、発災後の移動を徒歩・公共交通としているため、QoLがステージ1から回復しない山間部の地域があった。今後、平常時のQoLも把握するとともに、自動車での移動を考慮したQoLの算出方法を検討することが考えられる。
- ・なお、QoLを災害前の「1.0」に戻すことがレジリエントな都市システムとして考えられるが、災害復旧・復興の機能的・時間的な目標を住民アンケート等から得ることによって、住民意見を考慮したレジリエントな都市システムの構築とその評価が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 総務省：持続可能な開発目標（SDGs）指標仮訳，2018.12.
- 2) ISO：ISO37120 Sustainable development of communities. Indicators for city services and quality of life, 2014.5.
- 3) 国土交通省都市局都市計画課：都市構造の評価に関するハンドブック，2014.8.
- 4) 都市の環境性能評価ツール開発委員会：CASBEE-都市 建築環境総合性能評価システム 評価マニュアル（2013年版），2014.3.
- 5) ROCKEFELLER FOUNDATION：RESEARCH REPORT VOLUME 6/6 MEASUREMENT GUIDE, 2016.3.
- 6) JICA：ASEAN Urban Resilience Checklist, 2018.9, <https://aurf.ahacentre.org/what-we-do/asean-urban-resilience-checklist>, 参照 2019-10-01.
- 7) 馬場 健司, 田中 充：レジリエントシティの概念構築と評価指標の提案，都市計画論文集，Vol. 50, No. 1, pp.46-53, 2015.
- 8) 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），Vol. 71, No. 3, pp.127-140, 2015.
- 9) 林 春男：災害レジリエンスと防災科学技術，京都大学防災研究所年報，Vol. 59(A), pp.34-45, 2016.
- 10) 上田 遼：兵庫県南部地震後の神戸市の人口復元力特性の分析とレジリエンス評価 力学的アナロジーに基づく復興過程の研究，日本建築学会計画系論文集，Vol. 80, No. 709, pp.641-649, 2015.

- 11) 川久保 俊, 田中 充, 馬場 健司 : 公開統計情報に基づく日本の大都市のレジリエンス性評価, 環境科学会誌, Vol. 30, No. 3, pp.215-224, 2017.
- 12) Zihai Shi, Shizuo Watanabe, Kenichi Ogawa, Hajime Kubo : Structural Resilience in Sewer Reconstruction From Theory to Practice, 2017.10.
- 13) 猪原 暁, 渡邊 啓太, 杉本 賢二, 加藤 博和, 林 良嗣 : 巨大自然災害発生後の生存・生活環境変化に基づく地域のレジリエンス性評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 5, pp. I_283-I_291, 2016.
- 14) 国土交通省国土政策局国土情報課 : 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, 参照 2019-10-01.
- 15) 総務省統計局統計調査部国勢統計課 : 平成 27 年国勢調査 小地域集計 03 岩手県, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001080615&cycle=0&tclass1=000001094495&tclass2=000001094498>, 参照 2019-10-01.
- 16) 国土地理院 : 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, 参照 2019-10-01.
- 17) NTT タウンページ株式会社 : i タウンページ, <https://itp.ne.jp/?rf=1>, 参照 2019-10-01.
- 18) 内閣府政策統括官 (防災担当) : 資料3「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」改定案, 2018.3, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/higain-intei/dai4kai/pdf/shiryo03.pdf>, 参照 2019-10-01.
- 19) 国土交通省 水管理・国土保全局 : 水害の被害指標分析の手引, 2013.7, https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/higaisihyou_h25.pdf, 参照 2019-10-01.
- 20) 国土交通省 関東地方整備局 : 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の鬼怒川における洪水被害等について, 2015.10, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000634942.pdf, 参照 2019-10-01.

(?受付)

EVALUATION OF CITY RESILIENCE BASED ON QOL OF LOCAL RESIDENTS

Itaru MORITA, Zihai SHI and Masaaki NAKANO

Japan has been suffered by large-scale natural disasters in recent years. In the future, Nankai Trough earthquake is anticipated, and countermeasures against natural disasters are urgently needed. In the local government, disaster countermeasures are listed in the future vision of the plan, and it is necessary to steadily implement PDCA to achieve these. At this time, if the city's resilience can be quantitatively evaluated, it can be used for planning, project evaluation, etc., and useful information can be provided to realize the future vision of the plan. In this study, we applied a quantitative evaluation of regional resilience based on QoL of victims at the city level, and evaluated resilience by GIS analysis for flood and sediment disasters in Rikuzentakata City, where land use changed significantly before and after the Great East Japan Earthquake. As a result, we were able to quantitatively evaluate the resilience of Rikuzentakata City against floods and sediment disasters.