

巨大自然災害に対する地域のレジリエンス性の QOL指標による評価体系

杉本 賢二¹・林 良嗣²・加藤 博和³

¹正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail:k.sugimoto@nagoya-u.jp

²フェロー 名古屋大学大学院環境学研究科 (同上)

³正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (同上)

自然災害リスクの増大と社会システムの脆弱化に対応するためには、将来予想される国土と社会、あるいは影響を与える外的条件の変化を踏まえ、今後目指すべきレジリエントな国土デザインを検討しなければならない。本研究では、各個人の幸福度を表すQuality Of Life(QOL; 生活の質)を定量評価し、それを用いて巨大自然災害に対する地域のレジリエンス性を評価する手法を提案する。また、自然災害に対してレジリエントな国土を作り上げていくために有効な制度として災害アセスメントを提案する。この制度により、防災施設による緩和策(津波に対応する防波堤の構築)と、土地利用による緩和策(高台移転や低地の嵩上げ)との連携バランスが同時に評価され、従来の部門別個別施策実施が地域の安全を損なった欠陥を克服することにつながる。

Key Words : *resilience, natural disaster, quality of life, assessment, evaluation system*

1. はじめに

近年、日本では東日本大震災や、豪雨などの気象災害の頻発によって防災・減災への意識が高まるとともに、国土計画や都市計画において災害への対応が十分に考慮されていないことが問題視されるようになってきている。しかし、日本はもともと地震や極端気象による自然災害被害が多いことから本来は当然行っておくべきことであり、その具体的な対策の導入を急ぐべきである。さらに、今後は温室効果ガス排出による気候変動が予想され、台風やゲリラ豪雨、竜巻などの強大・頻発化が懸念されているため、巨大自然災害への対応がますます重要となる。

一方で、成熟社会を迎えた日本で、このような対応を進めていくことは困難を伴うという現実がある。世界に先駆けて少子高齢化と人口減少が進展しており、高度経済成長・人口増加期に急速に拡大した市街地・居住地は供給過剰となりつつある。加えて、同時期に大量供給された住宅・インフラは着実に劣化が進んでおり、それに伴う維持管理・更新費用は増大の一途をたどっているが、財政も悪化しているために費用が十分確保できない状況にある。そのため、筐子トンネル天井板落下事故のように、インフラが突如崩壊し死傷者を出す事故も起こるようになってきているが、構造物の老朽化が加速度的に進行す

ることを鑑みると、将来的にはこのような事故は増加すると考えざるを得ない。このまま有効な施策をうつことができなければ、都心部だけでなく郊外部でも空家・空き地があちこちに散在し、インフラの多くが十分に使用できずに見窄らしい景観に囲まれて低水準の生活の質しか得られないという、地域衰退への道を逃れることは不可能である。

以上のように日本では、活用できる資源が極めて限られてくる中で、増大する自然災害リスクと、脆弱化する社会システムへの対応が不可欠である。そのためには、将来予想される国土と社会、あるいはそれに影響を与える外的条件の変化を踏まえ、目指すべきレジリエントな(回復力の高い、柔軟性のある)国土デザインを検討しなければならない。

本研究では、各個人の幸福度を表すQuality Of Life(QOL; 生活の質)を定量評価し、それを用いて巨大自然災害に対する地域のレジリエンス性を評価する手法を提案する。また、自然災害に対してレジリエントな国土を作り上げていくために有効な制度として災害アセスメントを提案する。この制度により、防災施設による緩和策(津波に対応する防波堤の構築)と、土地利用による緩和策(高台移転や低地の嵩上げ)との連携バランスが同時に評価され、従来の部門別個別施策実施が地域の安全

を損なった欠陥を克服することにつながる。

2. 巨大災害によるQOLの低下とレジリエンス

(1) 生活の質(QOL)の定義

本稿では、QOLの定量評価値を用いて、巨大自然災害後の地域のレジリエンス性を評価する。ここで、QOLとは「一個人が生活する文化や価値観のなかで、目標や期待、基準、関心に関連した自分自身の人生状況に対する認識」として定義され¹⁾、あらゆる要素から構成される生活環境の中で生活する個人の、生活環境に対する主観的な評価である。したがって、QOLは生活環境に影響を与える様々な構成要素を説明変数とする関数として考えることができる。

QOL関数は当然人によって異なるが、個人属性や世代、時代の状況に影響を受けることから、これらによってカテゴリ化できると考える。一方で、地域の様々な状況や施策による変化はQOL構成要素を左右する。ここでは単純に構成要素がQOL向上に寄与する量を合計してQOL値が得られるものと考え、属性カテゴリによって各構成要素の寄与度(重み)が異なるものと考えて定式化する²⁾。

(2) QOLによるレジリエンス性の評価

ところで、巨大災害が発生すると被災地においては死傷者が発生するとともに、生き残った人々も生活環境の悪化に苦しむことになる。これは災害によって家屋やライフライン、施設が使用不能になることなどが原因である。こうした生活環境の悪化はQOL値の低下という形で定量的に表現できる。そのため、本稿ではQOL値低下の時間積分値が小さいほど、「レジリエントである」と定義する。さらに、ケガについてその重度・期間に応じて余命が減少すると考え、死亡と合わせて計算される総損失余命により災害に対する地域のレジリエンス度合いが定量化される。

図1に巨大災害後のQOL水準低下の模式図を示す。ここではQOLを余命指標で表している。巨大自然災害の発

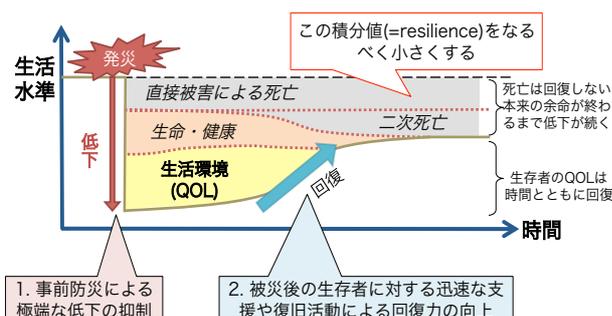


図-1 震災後のQOL水準低下とレジリエンス性の評価

生により、生活水準(QOL)は平常時の水準から大きく低下し、その後少しずつ回復する。しかし、災害による直接死亡と被災後の二次死亡については、死者が持っていた余命がすべて失われることになるため、QOL低下は死亡しなければ続いたはずの余命が尽きる時まで続くことになる。負傷や生活環境については徐々に回復するが、後遺症が残ったり、生活に支障をきたすなど、死亡と同様に余命の間QOL低下をもたらすこともある。このような自然災害による被災者の生活・健康への被害について、例えば、高野ら(2013)³⁾は東日本大震災による被災者のQOL水準を時系列で推計している。

そこで、レジリエンスは災害に伴うQOL低下の総量(積分値)の「小ささ」として定義でき、発生直後の低下を抑制するとともに、その後の回復が早くなることによってレジリエンスは向上できる。具体的には、事前対策として巨大津波に備えた堤防の整備や建物の耐震化の徹底化、あるいは被災後の道路啓開やライフラインの早期復旧などである。

(3) 低頻度破局的災害への対応

巨大災害に対するレジリエンスを考える際にはQOL低下総量以外に、発災時のQOL低下の大きさが重要になることがある。低下が極端になる場合は、その地域が復興に至るまで相当な期間や費用を必要とするか、場合によっては再建不能となるほどの破局的な状況である。高い確率でこのような状況が発生することが想定されるならばレジリエンスは極めて低いこととなるため、それを回避する策を検討しなければならないのは当然である。しかし、東日本大震災は1000年に1度という極めて低頻度の災害であるため、リスク評価値では小さな値となってしまう。だが、一旦生じれば破滅的な打撃となることから、たとえ発生確率が低くても対応できるよう備えておくことが重要であるという考え方もありうる。

3. 災害アセスメント制度の提案

(1) レジリエント度の定義

前節では地域のレジリエンスの程度をQOL指標で表現する方法を示した。それを踏まえて、本節ではレジリエントな国土デザインを検討するための枠組みを図2のように提示する。まず、レジリエンスの程度は、津波を例にとれば、防潮堤などのインフラの整備度合と、影響を受けやすい土地利用からどれほど転換できるかの掛け算で決まる⁴⁾。ここではこの両者をまとめてハード対策と呼ぶこととする。

一方、各地域がどの程度の災害に対して十分なレジリエンスを保ちうるかを示す指標として「レジリエンス度」

を定義しておく⁹⁾。レジリエンス度は、ある頻度で生じる災害に対して社会がどの程度のレジリエンスを保てるかを示すものである。レジリエンス度の評価方法については前節のQOL指標による定義が利用できるが、ここでは津波災害を例により簡易な設定例として、1000年で1回程度の津波（レベル2）が来ても死者が出ないレベルをレジリエンス度A、100年で1回程度の津波（レベル1）が来ても死者が出ないレベルをレジリエンス度B、さらに30年で1回程度の津波が来ても死者が出ないレベルをレジリエンス度Cと定義する。そして、ある沿岸地域では現在のレジリエンス度はCであるため、2050年を目途にレジリエンス度Aを達成したいという目標を設定することとする。しかし、2050年まで努力してもハード対策だけではレジリエンス度はCからBにしか上げられない見込みであるとする。この場合、レジリエンス度Aを達成するためには、避難誘導や継続的訓練といったソフト対策で補うことが必要となる。

ここで重要なのは、ハード対策は多額の費用を必要とし、財政状況によって制約されるとともに、平常時の生活・生産活動に制約をもたらす場合があるために、極めて低頻度でしか起こらない災害を想定したレジリエンス度Aを確保するまで整備することは通常困難であるということである。ところが、東日本大震災でも浮き彫りになったように、レジリエンス度Bを確保したハード対策を過信し、ソフト対策を怠ることによって、結果的にレジリエンス度Aに相当する災害が発生し、それに対応できないハード対策が突破されると、地域が総崩れになってしまう状況が起こりうる。したがって、今後のレジリエンス確保策においては、1)確保すべきレジリエンス度を意識したハード対策とソフト対策のバランス、2)ソフト対策を有効ならしめるための地域ステークホルダー間の連携・協働、を検討することが重要であると言える。

(2) 災害アセスメントの概要

巨大自然災害が高頻度で発生する日本では、その対応

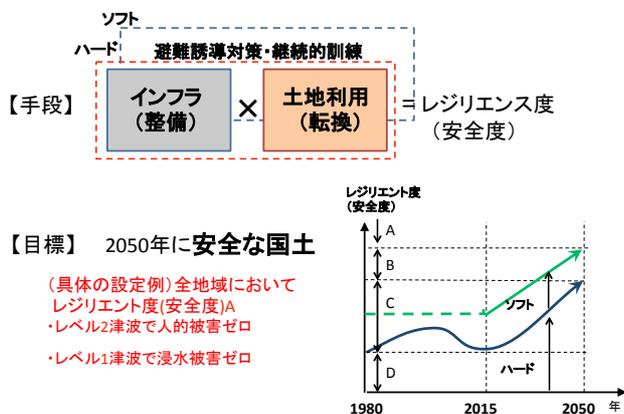


図2 レジリエントな国土デザイン検討の全体枠組み

を後付で考えるのではなく、インフラ整備や開発事業の計画・実施に際し、災害による影響の最小化を意識し、事業認可制度に施設の安全を確保する仕組みを内包すべきである。その仕組みとして「災害アセスメント」の制度化を提案する。

災害アセスメントは、環境アセスメントに倣った新しい戦略的事業評価概念であり、あらゆる自然災害に対する緩和・適応能力を強化することを目的とする。これは、インフラや建築物などの各開発事業が具備すべき性能を評価・検討する「事業計画災害アセスメント」に加え、それらの機能を連携するネットワークの果たすべき機能・役割を、国土・広域圏・市町村それぞれのスケールで評価・検討する「上位計画災害アセスメント」と、開発行為（公共事業・民間事業）や既存開発地・施設を評価・検討する「事業計画災害アセスメント」の2階層からなる評価システムである。その適用によって自然災害への対策強化へ誘導する新制度の法制化を促すものとする。

災害アセスメントの流れを図3に示す。インフラや建築物の新規開発事業を対象とする場合には、地域において目標として設定したレジリエンス度を満たすか否かを事前評価する。さらに、防潮施設が連携して機能し、交通ネットワークにリダンダンシーがあることなども含めて、レジリエンス度が継続的に担保されているか否かを、対象事業が完結するまで定期的にモニターし審査する。

一方、既存のインフラや建築物に関しては、目標とするレジリエンス度を満たせない不適格施設について、その更新時を待って改善を図ることとする。ただし、公共性の高い施設（重要建造物）については、既存不適格の概念を超えて、構造物の性能を見直す「ストレステスト」を実施し、改善命令あるいは指示をする必要がある。

(3) 災害脆弱性評価に基づく2段階の災害アセスメント

災害アセスメントの構成を図4に示す。想定する外力は、地震・津波・浸水・豪雪・土砂災害・火山噴火など全ての自然災害、ならびに災害対策基本法において想定されている大事故を対象とする。各災害についてあらかじめ脆弱性を評価し、場所ごとに予測される災害の水準を示すハザードマップを作成しておく。このマップ情報を用いて、災害アセスメントの判定基準となるレジリエンス度が定められる。自然災害によって発生確率や想定

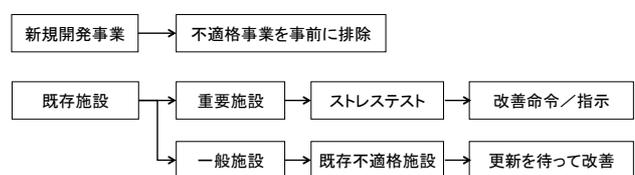


図3 災害アセスメントの流れ

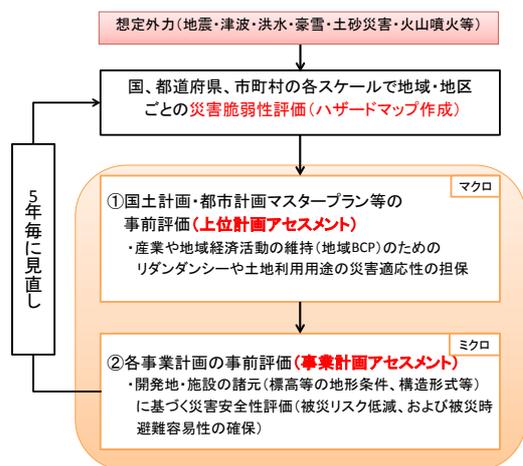


図4 災害アセスメントの2段階構成

規模が異なることに留意するとともに、複数の災害が同時発生する可能性についても、それぞれの発生確率や予想規模などから想定し、適切な対策を検討することが必要となる場合も考えられる。

具体的な手続きは、国、都道府県、市町村の各スケールで地域・地区ごとに分析される災害脆弱性評価に基づき、次の2段階から構成される。

- 1) 国・自治体の上位計画（国土計画・都市計画マスタープラン等の構想・基本計画段階）を拘束する「上位計画災害アセスメント」（図4の①）
- 2) 開発行為（公共事業、民間事業）及び既存開発地・施設を拘束する「事業計画災害アセスメント」（図4の②）

1)の上位計画災害アセスメントは、国土計画・ブロック計画の立案、道路や鉄道などの交通ネットワーク計画の策定、都市計画区域の指定、都市計画における線引き（市街化区域の指定）・色塗り（市街化区域内の地域地区指定）など、国土・地域・都市の上位計画（構想・基本計画段階）において、自然災害の及ぼす影響の検討と対応策の立案を義務化するものである。それを通して、道路・鉄道ネットワークの災害時における避難・救援・復旧・復興、および産業や地域経済活動の維持（地域BCP）のためのリダンダンシーや、土地利用用途の災害適応性の担保を目論む。

一方、2)の事業計画災害アセスメントは、道路・鉄道整備、宅地開発などの詳細な路線選定、地区の土地利用及び施設設計における地形・地盤特性、構造形式、被災者の避難施設としての機能などへの配慮義務を規定するものである。

(4) 災害アセスメントと土地利用規制の関係性

災害アセスメントに関わる土地利用規制は、関連法（都市計画法など）が既に存在するため、基本的にはこれらを準用又は一部改正を行うことで対応する。それにより、レジリエンス度の低い災害高リスク地域への立地

制限を強化し、インフラや建築物の新規開発と、既存開発の更新時期に合わせて立地を少しずつ変更していき、概ね30年間でレジリエンス度の高い災害低リスク地域へ転換を図ろうとするものである。転換期間は、日本の建物の平均寿命がおおよそ30年であることに対応している。

災害アセスメントの評価基準設定における基本的考え方を、津波を例として図5を用いて説明する。まずレベル1の津波（レジリエンス度B）に対しては「致命的な被害をもたらす浸水深」を定義し、防潮堤などのハード対策で対応することによって浸水をそれ以下に保つことを目標とする。レベル2の津波（レジリエンス度A）に対しては、先のハード対策と併せて土地利用の適応、施設の堅牢化、避難誘導などのソフト対策を組み合わせることにより、少なくとも人命を守ることを目標とする。具体的には、各レベルに応じて以下の対策を検討することとなる。

1) レベル1に対応する場合（レジリエンス度B）

レベル1の津波で被災する可能性のある地域・地区（第一種耐津波地域と呼ぶ）では、高さや強度の基準を満たす建造物の新設のみを許可する。また、既存不適格施設の地区外への移転や更新を誘導・促進するために2つの政策を適用する。一つ目はストレステストの実施であり、二つ目は融資・補助金・税優遇制度の導入である。そして、学校、病院、役所などの公共施設の立地は禁止する。

2) レベル2に対応する場合（レジリエンス度A）

レベル2の津波で被災する可能性のある地域・地区（第二種耐津波地域と呼ぶ）では、至近距離に避難建物や場所が確保されている場合についてのみ、現在建物の増改築を認める。また、津波の一時避難所として高速道路など標高の高い場所の利用も考えられ、平常時の効率化と緊急時の安全性担保の一石二鳥(Co-Benefit)を考慮することも重要となる。

ここで、津波による災害の防止効果の向上を目的とした法律として、2011年末に「津波防災地域づくりに関す

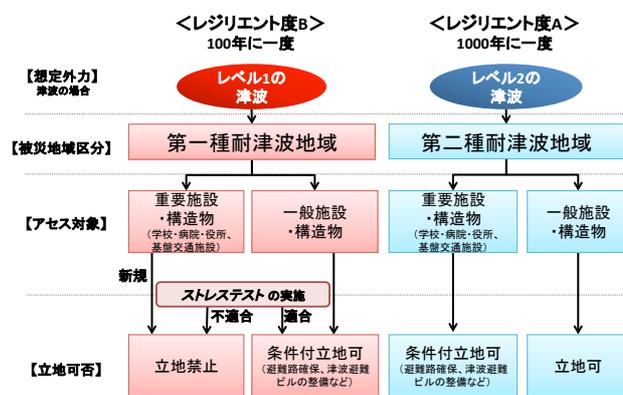


図5 事業計画災害アセスメントと土地利用規制との関係

る法律」が施行されている。その第一条では、住民等が津波から「逃げる」ことができるよう警戒避難体制を特に整備するために、都道府県知事は「津波災害警戒区域」の指定ができるとされている。これは本提案の「第二種耐津波地域」と対応する。さらに、防災上の配慮を要する者等が、建築物の中にも津波を「避ける」ことができるように、一定の建築行為・開発行為を制限すべき区域指定として、津波災害特別警戒区域の指定もできるとされている。これは本提案の「第一種耐津波地域」に対応する。

(5) 評価主体と評価項目

災害アセスメントの評価主体は、国、都道府県、または市町村であり、それらは上位計画災害アセスメント及び事業計画災害アセスメントの各段階で計画や事業の評価を行うこととなる（図6）。以下に、各評価主体が担う検討・評価の役割を示す。

- a) 国：国土スケールでの施策評価
- b) 都道府県：広域地方圏スケールでの施策評価
- c) 市町村：都市・地域スケールでの施策評価、及び



図5 災害アセスメントの評価主体と評価項目

表-1 災害アセスメントの評価項目案

大分類	小分類	災害時の機能要件	改善命令/指示項目
ライフライン	上下水道	被災からの復旧期間の短縮	・構造性能
	電気・ガス	・地域からの供給確保 (0日以内)	・危険区域の回避 (断層・軟弱地盤等)
	通信		・危険因子の改良 (地盤改良等)
治水	ダム・堰	・決壊による下流域への洪水防止	・立地、高さ、強度
	堤防・水門	・洪水防止	
	放水路		
交通施設	道路	・道路 (盛土) が有する防災・減災機能	・構造性能
	鉄道	・被災地に対する迅速な支援	・危険区域の回避
	空港・港湾	・被災後の産業維持 (サプライチェーン確保)	・ネットワークの強靭性
建築物	住宅	・大型: 自身が災害時避難所となしえる	・避難経路の整備
		・小型: 逃げられる	・大型: 自身が災害時避難所となしえる機能・強度 (立地制限・最低階高制限・構造性能)
	オフィス・商業施設	・災害時避難所となしえる	・危険区域の回避
	工場	・主要サプライチェーンの維持	・災害時避難所となしえる機能・強度
	病院	・災害時の防災拠点・避難所になる	・工場施設の強度
	学校	・自治機能の確保	・危険区域の回避
	官公庁舎	・被災者救援機能の確保	・危険因子の改良 (地盤改良等)
	駅・空港	・緊急時に避難場所になる	・土地利用状況を考慮した立地
	文化施設 (図書館等)	・被災者救援機能の確保	・危険区域の回避
	寺院・社・教会		・災害時避難所となしえる機能・強度

事業アセスメントが必要かどうかの判定

各評価主体は、当該施策に適した評価手法・項目を開発する必要があるため、外部の専門機関への委託や、学識経験者等による委員会等を構成し意見を聴くことも考慮すべきである。

評価項目は、4つの大分類（ライフライン、治水、交通施設、建築物）と計18の小分類で構成されるものとし、災害時に各項目の施設が確保すべき機能と、それに対する改善命令/指示項目で表される(表1)。

なお、災害アセスメントの制度的枠組は、単独での制度化もありうるが、基本構造は環境アセスメントにほぼ対応していることから、現行の環境アセスメントの制度の中に災害評価項目などを付加的に組み込むことも考えられる。

4. おわりに

本研究では、各個人の幸福度を表す Quality Of Life(QOL; 生活の質)を定量評価し、それをを用いて巨大自然災害に対する地域のレジリエンス性を評価する手法を提案した。また、提案した災害アセスメントは、災害に対してレジリエントな国土をつくりあげていくために有効な制度である。この制度が導入されると、防災施設による緩和策（津波に対抗する防潮堤の構築）と、土地利用による適応策（高台移転や低地かさ上げ）との連携バランスが同時に評価され、従来の部門別個別施策実施が地域の安全を損なった欠陥を克服することにもつながる。新規開発が防災水準を満たすようになり、また既存開発施設が既存不適格規定により次の更新時に着実に低災害リスクの施設へと生まれ変わる。さらには、重要施設に関してはストレステストが実施され、不適格な場合には必要な更新投資がなされることを期待する。

今後、アセスメントの制度化とともに、想定外力を踏まえて土地利用規制の種別を判断できるデータベースの構築、アセスメントを実行するための体制などを検討していくことも必要となる。

謝辞：本研究は、文部科学省のグリーン・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」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) WHO(World Health Organization): Constitution in basic documents, 1948.
- 2) 加知範康・加藤博和・林良嗣・森杉雅史：余命指標

を用いた生活環境質(QOL)評価と市街地拡大抑制策検討への適用, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.4, pp.558-573, 2006.

- 3) 高野剛志・森田紘圭・戸川卓哉・福本雅之・三室碧人・加藤博和・林良嗣: 東日本大震災における被災者生活環境の時間的変化の評価、土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.I_125-I_135, 2013.
- 4) 中村英夫: 巨大災害と国土政策, 日本学術会議連続シンポジウム, 2012.
- 5) 林良嗣・大石久和・藤本貴也・斉藤親: 災害アセスメント制度の提案, 土木学会誌 2012年4月号, 2012.
- 6) 内務大臣官房都市計画課: 三陸津波に因る被害都町村の復興計画報告書, 1934
- 7) 中央防災会議: 過去に行われた建築規制と現在の建

築基準法による措置, 内閣府中央防災会議東北地方太平洋地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第6回会合資料4, 2011.

- 8) 環境省: 環境アセスメント制度のあらまし, 環境省総合環境政策局環境影響評価課, 2009.
- 9) 環境省: 戦略的環境アセスメント導入ガイドライン (上位計画のうち事業の位置・規模等の検討段階), 環境省総合環境政策局環境影響評価課, 2007.
- 10) 田中充: 戦略的環境アセスメント制度の動向と運用の課題, 環境影響評価情報支援ネットワーク H20年研修資料, 2008.

(2015.4.24 受付)

THE EVALUATION SYSTEM OF REGIONAL RESILIENCE AGAINST HUGE NATURAL DISASTER USING QOL INDICATOR

Kenji SUGIMOTO, Yoshitsugu HAYASHI and Hirokazu KATO