

QOL指標による地震被害に伴う 道路交通網寸断の影響評価 ～モンテカルロシミュレーションを用いて～

三室 碧人¹・戸川 卓哉²・加藤 博和³・林 良嗣⁴・西野 慧⁵・高野 剛志⁶

¹学生会員 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: amimu@urban.env.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学研究員 大学院環境学研究科 (同上)

³正会員 名古屋大学准教授 大学院環境学研究科 (同上)

⁴フェロー 名古屋大学教授 大学院環境学研究科 (同上)

⁵学生会員 名古屋大学 大学院環境学研究科 (同上)

⁶非会員 名古屋大学 工学部社会環境工学科 (同上)

東日本大震災では、交通網が各所で寸断された結果、長期にわたって救助・避難・復旧・復興活動に支障を生じたほか、被災住民の生活の質 (Quality Of Life: QOL) を大きく低下させる要因ともなった。本研究では地域別に発災後の被災状況や住民ニーズに応じたQOL低下状況を時系列評価可能なシステムを構築する。QOL指標の構成要素の1つであるアクセシビリティ指標に着目して、目的地と道路ネットワークの相互作用を考慮して、東海三連動地震の発生を想定した発災後の各地域のアクセス性の評価を行った。分析の結果、沿岸部を中心に発災によりアクセシビリティが大きく低下する地域を明らかにした。

Key Words: *Quality of Life, Accessibility, Monte Carlo Simulation, Emergency Management, Road Network*

1. はじめに

東日本大震災では、地震や津波被害による交通網の寸断が多発し、様々な二次災害をもたらした。緊急車両が被災地へ辿り着けず、救援や緊急物資投入の困難な孤立地域を生み出した。また、非常時における情報収集・共有方法が整理されていなかったため、交通網の復旧に応じて開始された支援物資等の搬入時に需給のミスマッチが生じ、被災者のニーズを満たす支援体制が滞りなく実施できないという欠陥が露呈した。その後も避難所や集落から病院等へのアクセス性が相当程度低くなる状況が観察された。

近未来の発生が予測されている東海・南海・東南海地震では、三陸地方と同じリアス式海岸の地形を有する三重県や、海に接する愛知県・静岡県では、東日本大震災と同様の被害の発生が懸念される。そのため、事前対策として、交通網の頑健性・冗長性を高めるためのリンク

の優先順位付けと、事後対策としてのリンク復旧の優先順位付けを検討可能とする手法の開発が急務である。

そこで本研究では、発災後の状況変化に対応した交通網復旧プロセスを検討できる方法論を開発する。具体的なアプローチとして、発災後に刻々とその決定メカニズムが変化する、被災者の「生活の質」(Quality Of Life: QOL)を評価するシステムを構築し、それをを用いて各局面においてどのようにQOL低下を抑えるよう対応するかを検討する方法として整備する。そのうち特に、発災後のQOLへの影響が大きい要素として、病院や避難所など、緊急時にアクセスが必要となる諸施設への行きやすさ (Accessibility: AC) を本研究では取り上げる。それが道路ネットワークの被災状況によってどう変化するかを定量的に表現するために、アクセシビリティ指標 (以下、AC指標) を定義し、それをを用いて道路ネットワークの脆弱性を事前に評価する。

事前評価において重要なのは、災害による各道路区間の損壊の取り扱い方である。損壊をもたらす外力には、地割れ、液状化、津波など様々な要因があり、いずれも不確実性の高い事象のため、事前に正確な情報を設定することはできない。したがって、分析では損壊事象を確率的に取り扱う必要がある。そこで本研究では、乱数を用いて事象を確率的に評価する手法であるモンテカルロシミュレーションを利用して、各道路区間の損壊確率を考慮したAC低下への影響を分析する。

本研究により、道路ネットワークの脆弱な地域が把握でき、事前対策を優先すべき道路区間の抽出の判断基準提供が可能となる。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

一般に、災害被害は経済損失や死者数・建物倒壊数などの直接的な指標で評価される。既存の災害シミュレーションシステム¹⁾においてもこれらの指標がアウトプットされる。しかしながら、災害被害は発災後も長期間にわたって様々な経路をたどり住民の生活環境に悪影響を与えることにも注意が必要である。既往研究においても、集落ごとの孤立日数を評価したもの²⁾や食料の備蓄量から災害脆弱性を評価したもの³⁾がある。しかし、災害時における住民の生活ニーズやそのダイナミックな変化が十分に考慮されていない。

また、今後大震災に見舞われる可能性が高い地域では、その発生を想定して、被害を抑制できる土地利用への転換やインフラ整備をあらかじめ進めていくことが必要である。しかし、今回の被災地のように集落やインフラが全壊し、災害の記憶も新しい状態であるのとは異なり、他の地域では災害への意識も相対的に高くないことから、現在の居住地を漸次作り変えていくために必要な計画の立案・実施ははるかに難しい。したがって、生活者の視点から災害被害の影響をイメージしやすい指標で評価できるシステムの構築が不可欠である。

一方、阪神淡路大震災や新潟県中越地震を対象として、避難者の居住環境の実態調査やその評価^{4) 5)}も行われているが、定性的な事例分析に留まり、定量的な分析は十分に行われていない。

以上のような背景から、各自治体が検討している防災計画は個別に立案されている側面が強く、科学的視点から統一的にマネジメントする方法論は確立されていない。また、被害発生後の復旧・復興過程における優先事項の順位決定の方法論も確立されていない。

そこで本研究では、生活者の視点から災害被害における対応手法を時系列かつ定量的に評価可能とするシス

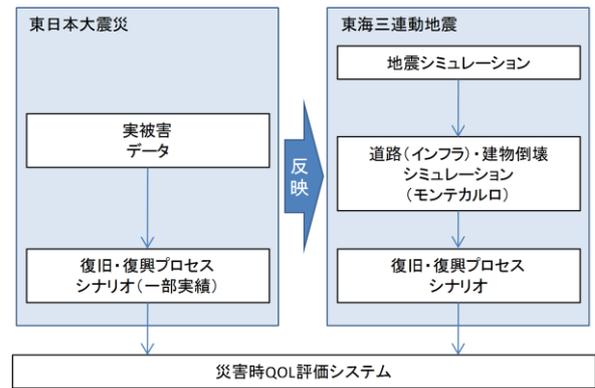


図-1 研究全体のフロー

テムを開発する。本論文では、QOLの構成要素のうちAC指標に着目するが、最終的には、集落ごとの災害脆弱性の総合評価や復旧・復興計画の立案支援を行うための方法論に発展させることを意図している。

3. 研究全体のフロー

研究全体のフローを図-1に示す。本研究では、東海・南海・東南海三連動地震を対象とした施策評価に主眼があるが、比較対象として東日本大震災における実績値を用いた分析を併せて行う。この結果から、構築する評価システムの有効性を確認する。

本研究では、実データを得られていない被災前の段階で評価を行うことから、災害状況を仮定してシミュレーションを行う必要がある。そこでまず、内閣府の地震被害想定支援ツール¹⁾を利用し、対象地域における500mメッシュごとの発災時の震度を算出する。次に、各メッシュの想定震度に基づき建物・インフラの被害を設定する。これは、確率的事象であることから、モンテカルロシミュレーションにより期待値で評価する。各道路区間の損壊率を下記のように設定する。

$$p_k = \frac{1}{1 + \exp(\alpha_0 + \alpha_1 \beta_1)} \quad (1)$$

ここで、 p_k :リンク k の損壊確率、 α_0, α_1 :パラメータ、 β_1 :リンクが存在する地域における震度。

パラメータ推定は、震度7の場合の道路リンク0.43kmあたり損壊確率を30%、震度3の時は1%と仮定して行った。ここで定めた損壊確率に対してモンテカルロ法を適用することで、損壊確率が乱数を下回る場合はリンクが損壊したと判断し通行は不可能として扱う。一方、乱数が上回る場合はリンクを通行可能とする。また、乱数の

発生回数は20回とし、各回で各道路リンクの通行の可か不可かを判断し、後述のGIS上におけるアクセシビリティの計算を行った後に平均値を求めることで、最終的なアクセシビリティ指標の結果を得る。

4. 災害時QOL評価システム

(1) 基本システム

各地区における居住者のQOL値は、既報⁹⁾の方法に従って推計する。まず、QOLはa)居住地区における環境の物理量と、b)そこに居住する個人の主観的な価値観によって決定されるとする。a)については、交通利便性(ACcessibility: AC)、居住快適性(AMenity: AM)、安心安全性(Safety & Security: SS)、の3つの要素からなる「生活環境質向上機会(Life Prospects: LPs)」をQOLの構成要素と定義して用いる。さらにLPsを説明する構成要素を表-1のように定義する。

このLPsに、b)居住者のQOLに対する価値観を表す重みを乗じたものがQOL値となる。それを、式(2)~(4)に示すように定式化する。

$$QOL(g,i) = \mathbf{w}^T(g) \mathbf{LP}_s(i) \quad (2)$$

$$\mathbf{w}(g) = [w(g, AM), w(g, AM), w(g, SS)] \quad (3)$$

$$\mathbf{LP}_s(i) = [AC(i), AM(i), SS(i)] \quad (4)$$

ここで、 $QOL(g,i)$:個人属性グループ g のメッシュ i でのQOL値(1人あたり)、 $\mathbf{w}(g)$:LPs各要素に対する価値観(重み)ベクトル、 $\mathbf{LP}_s(i)$:生活環境質向上機会ベクトル、 $AC(i)$:交通利便性、 $AM(i)$:居住快適性、 $SS(i)$:安心安全性。

(2) アクセシビリティ指標の定式化

ACは、各地区から主要施設への近接性を表すもので、ここでは、式(5)で定義されるポテンシャル型を用いる。

$$AC_i = \sum_j \{AT_j \exp(-\alpha c_{ij})\} \quad (5)$$

ここで、 AC_i :地区 i 内の交通機関のAC、 i :評価対象地区、 j :近隣地区、 J :地区総数、 AT_j :地区 j 内の施設の魅力度、 α :パラメータ、 c_{ij} :地区 i から地区 j への移動に要する一般化費用。

一般化費用 c_{ij} の限界効果逓減は指数関数で表してい

表-1 QOLの構成要素(LPs)

分類	評価要素	指標例
交通利便性 (AC: ACcessibility)	就業施設利便性	就業場所へのAC
	教育・文化施設利便性	高校、美術館・博物館、図書館へのAC
	健康・医療施設利便性	病院へのAC
	買物・サービス施設利便性	大型小売店へのAC
居住快適性 (AM: AMenity)	居住空間使用性	1人あたり居住延べ床面積
	建物景観調和性	建物高さばらつき
	周辺自然環境性	1人あたり緑地面積
	局地環境負荷性	交通騒音レベル
安心安全性 (SS: Safety & Security)	地震危険性	地震による期待損失余命
	洪水危険性	洪水による期待浸水深
	犯罪危険性	年間街頭・侵入犯罪件数
	交通事故危険性	年間人身事故発生件数

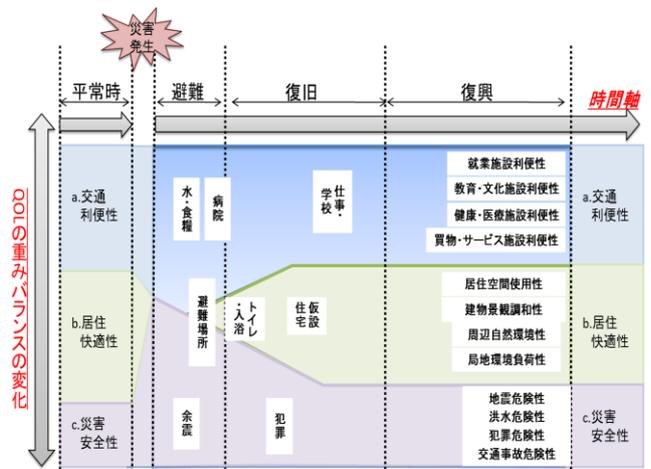


図-2 発災後のQOLの重みパラメータ変化

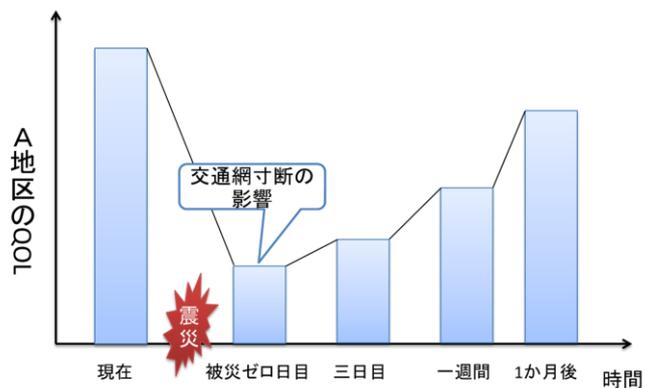


図-3 発災後のQOL変化のイメージ

る。その距離逓減パラメータ α は2001年中京都市圏パーソントリップ調査から分布交通量モデルを推定して得られた値を用いる。

(3) 災害被害評価への応用

災害時は生存条件が脅かされることから、式(3)で表現

されている重みパラメータ $w(g)$ が通常時のものと大きく異なる。図-2 にその概念図を示す。重みパラメータは避難・復旧・復興の各段階を経て通常時のパラメータに徐々にシフトしていくものと考えられる。以降では、各段階における重みパラメータの傾向について述べる。

- ・ 被災直後：緊急避難施設や医療施設へのアクセス性が重視される。また、他地域からの避難物資の到着に時間を要するため、被災地内の小売店舗や倉庫等における水・食料・毛布の残存量も重要になる。
- ・ 避難段階：避難所の開設状況や水・食糧等の避難物資の供給状況が重視される。この段階では、避難所におけるトイレの状態や入浴施設の整備状況などの衛生面の問題も重視される。また、余震による二次被害の防止や被災地内の治安維持の状況も重要となる。さらに、家族や知人の安否確認のための情報も重視される。
- ・ 復旧段階：仮設住宅における生活環境などアメニティ関連の指標が重視されるようになって考えられる。また、プライバシー確保が難しい居住環境下で長期間生活している避難所生活者に関しては、精神的なサポートも重要となる。
- ・ 復興段階：就業や就学が再開されるため、これらの施設へのアクセス性も重視されることになる。重みバランスは通常時の値に収束していくことになる。

以上のような QOL の時系列変化を図示したのが図-3 である。具体的な重みの値を得るために、東海・東南海・南海地震の被害想定地域におけるアンケート調査を実

表-2 利用データ一覧

データ項目	出典
道路ネットワークのデータ	全国デジタル道路地図データベース（(財)日本デジタル道路地図協会)
	走行実績データ (Honda インターナビおよびパイオニアのスマートループ搭載車両のフローティングカーデータ)
病院データ (ポイント)	(国土数値情報) 平成17年
東海・南海・東南海三連動地震の想定震度のデータ	地震被害想定支援ツール (内閣府)

施し、パラメータを推定することを予定している。

以上より、交通道路ネットワークや施設の復旧状況等の地域内の物理的な状況、時々刻々と変化する住民の主観的な価値観を表す重みパラメータ $w(g)$ の変化の双方を考慮して、地区 (集落) ごとに QOL 変化のアウトプットを描くことが可能となる。

5. ケーススタディ

(1) 対象地域の概要と使用データ一覧

東日本大震災 (東北地方：岩手県、宮城県) および東海・南海・東南海三連動地震 (東海地方：静岡県、愛知県、三重県) を対象としたケーススタディを行う。ここでは QOL の構成要素の内、災害時に重要になると考えら

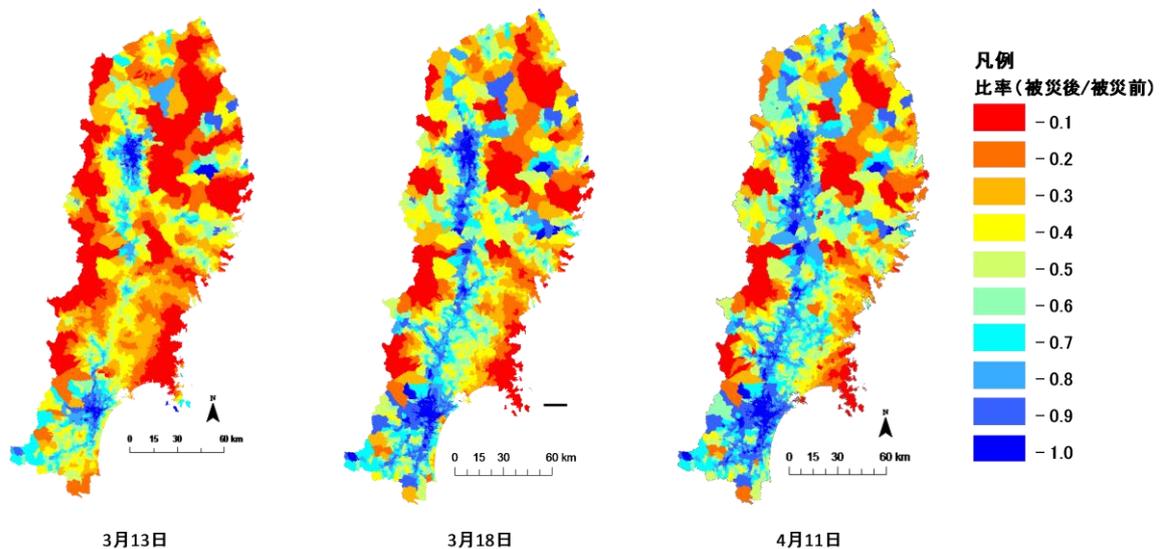


図-4 東北地域における AC の時間推移

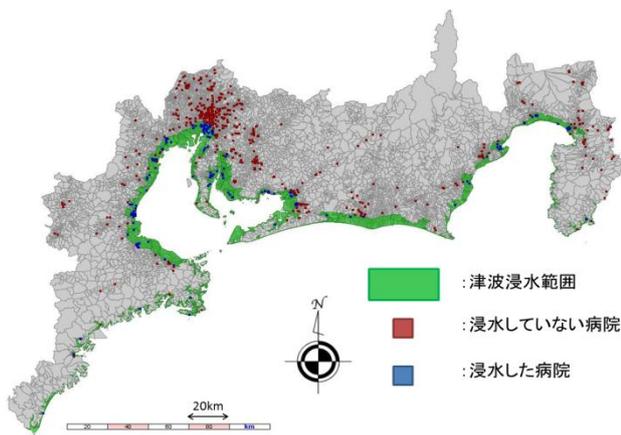


図-5 東海地域における津波浸水範囲と病院立地

れる病院へのACのみを対象とする。東日本大震災に関しては実績データを利用する。東海・南海・東南海三連動地震に関しては、地震被害想定支援ツール¹⁾による被害予測を基に分析を行う。利用したデータは、表-2の通りである。

また、津波による浸水区域に含まれる病院はその機能を喪失するものと仮定している。東日本大震災については実際の津波被害区域のデータを、東海・東南海・南海三連動地震については沿岸部から10km以内でかつ標高10m以下の区域が津波被害を受けると想定した。

(2) 分析結果

a) 東日本大震災

岩手県・宮城県を対象として、東日本大震災発生後の医療施設へのACの推移を図-4に示す。分析単位は町丁目を採用し、被災前の値を1とした相対値で示している。

なお、本研究ではカーナビの走行実績データを用いており、走行実績のない区間が必ずしも通行不可能となっ

ているわけではなく、ACは過少評価される傾向にある。

被災直後（3月13日）は津波被害が甚大であった三陸沿岸部を中心として地域全体でACは大きく低下している。一方、仙台市や盛岡市等の都市部では低下率は比較的小さい。沿岸部においても特にACの低下が抑制されている地区がある。理由は、このような地区の病院が高台等の津波被害を受けにくい地区に立地していたためである。しかし、三陸沿岸部を南北に結ぶ国道45号線が断絶し、病院は存在してもアクセスできないため、周辺地区のACに対して波及的影響を与えることができず、地域間のAC格差は拡大する結果となっている。

次に、被災から1週間が経過した3月18日の時点では、全般的に被災直後に比べてACが回復している。特に仙台・盛岡を結ぶ東北道の沿線部での回復が顕著である。また、岩手県と比較して宮城県の特には仙台市周辺で回復が大きい。

最後に、被災から約1カ月経過した4月11日の時点では、東北道沿線を中心に、さらに回復している様子が分かる。しかしながら三陸沿岸部では通常時の20%以下のACの地区が多く残っている。

b) 東海三連動地震

ここでは、被災直後のACの低下状況について考察する。図-5は、東海地域における津波浸水範囲と病院立地を示している。緑色が浸水範囲で、青色のポイントデータは、機能を喪失した病院であり、沿岸部での被害が多くなる想定である。図-6は、現状を1とした際の、災害発生直後のACの低下率を示したものである。以上の結果から特に沿岸部周辺でACの変化が著しいことが見てとれる。これは津波の影響で沿岸部の病院が震災発生後は機能しなかったため、遠方の機能している病院までア

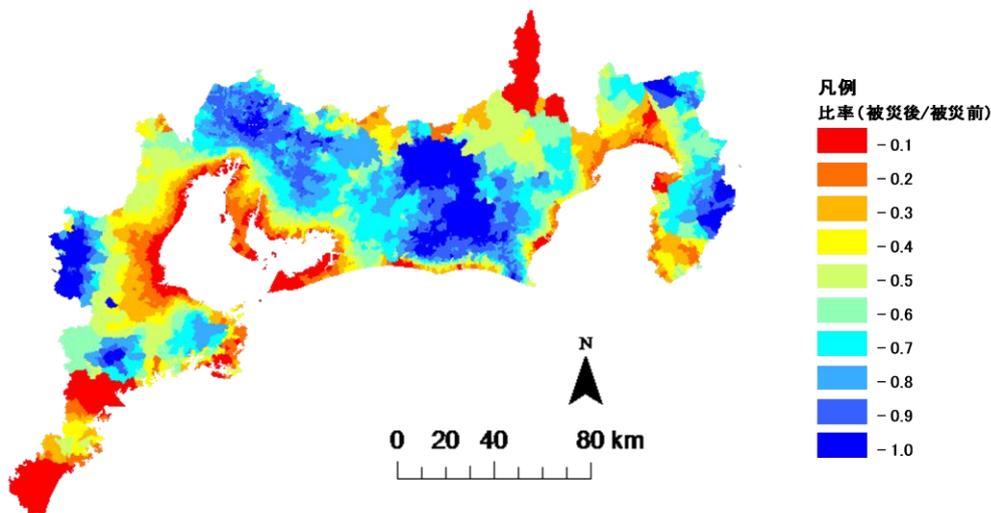


図-6 東海地域における災害0日目のACの変化

クセスする必要性が生まれたためである。

対照的に名古屋周辺ではACの低下率が低い。これは、道路ネットワークが充実していたため、震災による道路ネットワーク寸断の影響が沿岸部と比較して小さかったためである。

全体としては、東北地方での推計同様、沿岸部でACの減少率が大きく、都市部では小さい傾向となっている。この結果は実データを用いた東北地方の傾向と同様である。

6. 結論

(1) 本研究で得られた知見

本研究では、災害の被害評価を被災地住民の QOL の視点から評価する方法を提案し、そのシステムの重要な構成要素である AC に着目して、発災後の道路ネットワーク損壊の影響評価を行った。分析の結果、下記の知見を得た。

- a) 東日本大震災では、津波被害の大きかった三陸海岸沿いで、AC が大きく低下していることを定量的に明らかにした。しかし、内陸部等では AC の低下が抑制された地域も存在することがわかった。
- b) 一方、時系列で比較すると、AC は段階的に回復しており、特にネットワークが密な仙台市中心部での回復が早いことが明らかになった。
- c) 東海地域における三連動地震を想定した分析結果から、沿岸部では津波の浸水によって道路ネットワークが破壊され交通が困難になる上、目的地である病院も機能停止となるため AC は大きく低下することが明らかになった。一方で、名古屋のような都市部では、病院数が多く、道路ネットワーク整備が密に行われているため、AC の低下は抑制された。
- d) 今回のシミュレーション結果は、東日本大震災後における実データを用いた AC 変化と同様の傾向を示しており、東海地域において三連動地震を想定した分析を早急に進める必要性を明らかにした。

上記の結果より、今後の東海地方での災害対策としては、沿岸部に存在する医療施設の津波対策、また都市部周辺地域は災害発生後の AC 改善が早いことから、周辺道路環境を整えることで災害発生後の AC の低下を抑えることができると考えられる。

(2) 今後の課題

研究には多数の課題が残っているが、下記の点を重点的に検討していく予定である。

- a) まず、地震による道路ネットワークの損壊確率を想定震度のみでなく、建物倒壊の観点なども考慮して分析していくことが必要である。
- b) AC の回復を最も高くする道路補修箇所抽出や、や AC の時系列変化を分析することも必要である。
- c) アメニティや安心安全性を考慮した包括的な QOL 指標について扱い、災害時のマネジメントの方法論の検討を行う。

参考文献

- 1) 内閣府：地震被害想定支援ツール利用説明書，2009.
- 2) 近藤信也他：道路閉塞に着目した広域災害における集落の孤立危険度マップ，生産研究，62 巻 4 号，pp.141-143，2010.
- 3) 太田和良他：紀伊半島における中山間地集落の孤立化と自律性に着目した防災力評価手法の検討，日本建築学会・総合論文誌 (6)，pp.117-121，2008.
- 4) 天国邦博・呂恒俊・望月利男：阪神・淡路大震災における避難者実態に関する考察，地域安全学会論文報告集 (6)，pp.223-234，1996.
- 5) 松井克浩：被災生活におけるニーズと支援：中越地震「生活アンケート」の試み，日本行動計量学会大会発表論文抄録集 33，pp.26-29，2005.
- 6) 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，p.558-573，2007.

An impact analysis based on QOL indicator on rupturing road traffic network caused by an earthquake with monte carlo simulation

Aoto MIMURO¹, Takuya TOGAWA², Hirokazu KATO³,
Yoshitsugu HAYASHI⁴, Satoshi NISHINO⁵, Tsuyoshi TAKANO⁶